

Э. К. ЭПИК

СОЛНЦЕ

ПО НОВЕЙШИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ
ИСПРАВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ПОПУЛЯРНО-НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

Э. К. ЭПИК

СОЛНЦЕ

ПО НОВЕЙШИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ ИСПРАВЛЕННОЕ и ДОПОЛНЕННОЕ



1927

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА ★ ЛЕНИНГРАД

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Сравнительно с некоторыми другими областями астрономии, хотя бы, например, со звездной астрономией, в науке о солнце в последние годы замечается лишь медленный прогресс. Объясняется это как сложностью предмета, — в огромной массе фактов, доставляемых наблюдением, очень трудно подметить закономерность, — так и тем, что в наблюдательской технике пока коренных изменений не произошло. Фотография, спектроскоп, спектрогелиограф, изучение эффекта Зеемана — методы эти уже пережили свой медовый месяц; наиболее поразительные открытия были сделаны в начале применения этих методов, и дальнейшая работа сводится к медленному, упорному накоплению новых фактов.

Эти обстоятельства облегчили автору задачу подготовки второго издания. Кроме исправления опечаток, — довольно многочисленных и иногда весьма досадных, вкравшихся в первое издание (не по вине автора), — пришлось, сообразуясь с исследованиями последних лет, сделать лишь сравнительно небольшие дополнения, общего плана книги не меняющие.

1925, октябрь.

ВВЕДЕНИЕ

В этой небольшой книжке мы попытались в общедоступной форме передать главные факты, касающиеся солнца, по современным исследованиям. Имея в виду общедоступность и возможную цельность картины, пришлось поступиться ее полностью. Не говоря уже о том, что всякие математические выкладки, а также рассуждения, требующие от читателя более основательной подготовки, выпущены, и что многое, о чем будет говориться, нам приходится просить принять на веру,— нами совершенно не затронуты разнообразные теории, иногда очень причудливые, придуманные для объяснения наблюдаемых на солнце явлений. Ведь всякое научное исследование можно разложить на две части: 1) наблюдение фактов (явлений) и 2) теорию — объяснение фактов. Когда фактов известно недостаточное количество (а в таком положении, к сожалению, еще находится наука о солнце), то для них можно дать несколько различных объяснений, так что существует несколько теорий солнца. Считая, что запутывать начинающего противоречивыми мнениями не следует, мы решились прежде всего ограничиться изложением лишь того, что спору не подлежит,— изложением фактов. А чтобы связать все эти факты в одну картину, нами для объяснения каждой группы явлений дается одно истолкование, которое мы, — а чаще всего и большинство наблюдателей солнца,— признаем наиболее вероятным.

С другой стороны, имея в виду читателя, единственной подготовкой которого является интерес к предмету и элементарная грамотность, пришлось в изложение вставить краткие, самые общие сведения из смежных наук — физики, химии, геологии, а также других областей астрономии; надеемся, что более подготовленный читатель, в руки которого, может быть, попадет эта книга, извинит нас за это.

Объяснив, таким образом, причину многих недочетов нашего изложения, между прочим, неполноты и некоторой пристрастности в отношении теорий, мы решаемся предложить вниманию читателя картину явлений на солнце, как она представляется нам на основании совокупности наблюдений, произведенных по настоящее время.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЛНЦЕ

Астроном, приступая к исследованию какого-нибудь небесного тела, первым делом ищет в нем чисел и отношений; все, что можно, он измеряет, недостающее дополняет математическими вычислениями, и на полученном таким образом фундаменте чисел и математических формул он уже строит прочное здание знания.

Поэтому и у нас первым вопросом будет: сколько? Сколько километров отсюда до солнца?

Когда солнце восходит или заходит и стоит над горизонтом, то ясно видно, что оно находится за всеми земными предметами, дальше самых далеких строений, лесов или гор, которые иногда видны на сотни километров. Мало того: если пройти по земле тысячи километров — пройти и навстречу восходу солнца, и в сторону заката его, и на север, и на юг, даже обойти всю землю кругом — везде: и в СССР, и в Японии, и в Африке, и на северном полюсе солнце представляется совершенно одинаковой величины, нигде оно не больше и не меньше; между тем из опыта мы знаем, что при приближении к какому-либо предмету нам всегда кажется, что он становится больше, при удалении — меньше; а раз для кажущейся величины солнца совершенно незаметным остается перемещение на целые тысячи километров, то это значит лишь, что эти тысячи километров сравнительно с расстоянием до солнца — ничто, что оно неизмеримо дальше от нас, чем самые отдаленные страны на земной поверхности.

Каким же образом определяется расстояние до солнца? Если нам требуется измерить какую-либо длину на земной поверхности, например расстояние между двумя деревьями, то достаточно провести между ними прямую линию, напр., протянуть веревку, и затем сосчитать, сколько раз определенная мера, напр. метр, уложится на этой линии. Но как быть с предметом, до которого, как

до солнца, мы добраться не можем? Если итти или ехать по железной дороге, то кажется, будто все предметы движутся вам навстречу, при чем близкие предметы быстрее, чем далекие. Близкие столбы так быстро проносятся перед окнами вагона, что нехватает времени их рассмотреть; удаленные же дома, деревья медленно плывут, а у очень далеких предметов, находящихся близ самого горизонта, перемещение даже не сразу бросается в глаза: надо подождать некоторое время, чтобы его заметить.

Таким образом по величине кажущегося смещения можно судить о том, как далеко предметы от нас находятся, при чем сами предметы могут быть для нас недоступны. Это яснее можно понять по рис. 1. Наверху волнистая линия изображает горизонт, где нам кажется, что «небо сходится с землею»; внизу — дорога, по которой идет человек; на равнине два дерева, близкое и далекое. Пусть человек находится сначала там, где поставлена римская цифра I; он смотрит на деревья по направлению толстой стрелки, и ему кажется, что близкое дерево закрывает далекое, так что оба дерева находятся на одной с ним линии; нацелившись по этой линии, мы увидим, что деревья закрывают некоторое место или точку на горизонте; приметим эту точку по расположению каких-либо предметов на горизонте, например, холмов, леса и т. п., и пусть она будет там, где стоит буква *А*. Перейдем затем по дороге вправо туда, где стоит цифра II; тогда близкое дерево перестанет закрывать далекое: оно передвинется влево, и человек будет видеть деревья по направлению тонких стрелок: далекое будет находиться перед точкой горизонта *Б*, близкое — перед точкой *В*. Таким образом, когда человек по дороге перейдет из места I в место II, то ему покажется, что далекое дерево передвинется по горизонту на маленький кусочек между буквами *А* и *Б*, а близкое — на большой кусок между *А* и *В*; при этом, во сколько раз первый кусок меньше второго, во столько раз первое дерево дальше второго. На

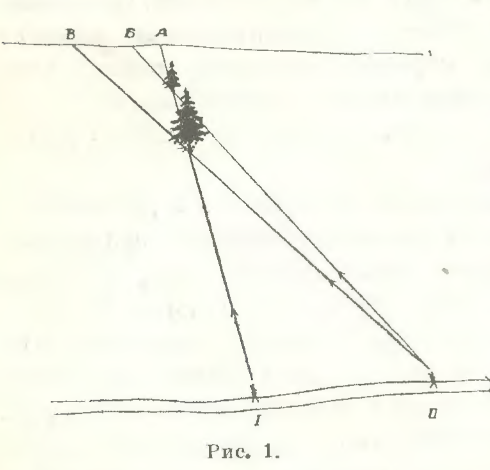


Рис. 1.

нашем чертеже кажущееся смещение близкого дерева в три раза больше смещения далекого; это значит, что расстояние до первого дерева в три раза меньше, чем до второго.

Для того чтобы по величине кажущегося смещения судить о расстоянии недоступных нам предметов, достаточно каким-либо способом измерить смещение; грубо это можно сделать на-глаз следующим образом: вытянуть руку, выставить указательный палец вверх и определить, сколько раз поперечник пальца умещается между запримеченными нами точками (*А* и *Б* на рис. 1); зная сверх того расстояние, на которое мы сами передвинулись, можно приблизительно определить расстояние до интересующего нас предмета, пользуясь следующими правилами:

1) если смещение составляет один палец (т.-е. равно ширине пальца), то расстояние до предмета в 30 раз больше нашего собственного перемещения;

2) во сколько раз больше смещение, во столько раз меньше расстояние, и наоборот;

3) наблюдатель не должен никоим образом передвигаться по направлению к предмету, а всегда вбок, в поперечном направлении.

Пусть, например, мы прошли по дороге 40 шагов, и пусть далекое дерево сместилось на два пальца, а близкое — на шесть пальцев. По правилу 1-му, если бы смещение было равно 1 пальцу, то расстояние было бы $40 \times 30 = 1\,200$ шагов. Но так как на самом деле смещения были в 2 и в 6 раз больше, то расстояния будут, по правилу 2-му, соответственно в 2 и 6 раз меньше, т.-е. далекое дерево будет находиться от нас на расстоянии $1\,200 : 2 = 600$ шагов, а близкое — на $1\,200 : 6 = 200$ шагов.

Такое определение расстояния предметов можно легко проделать самому; для этого надо лишь выбрать открытое поле: в закрытом месте определять расстояния по этому способу нельзя. Нельзя также измерять расстояния до очень далеких предметов, так как в таком случае смещение будет слишком мало.

Напоминаем, что при этих измерениях при помощи пальца мы кажущуюся величину удаленного предмета сравниваем с кажущейся величиной пальца на вполне определенном, одном и том же расстоянии — на расстоянии прямо вытянутой руки. При этом надо всякий раз держать руку одинаковым образом; если бы мы вздумали один раз держать палец ближе к глазу, другой раз — дальше, то его величина казалась бы нам в первом случае больше, во вто-

ром — меньше, и сравнение получилось бы неправильное, ибо мера наша была бы в обоих случаях не одна и та же.

Эти измерения совсем иные, чем измерения длины. Измеряя истинные размеры какого-либо предмета, мы меру, хотя бы метр, прикладываем к этому предмету, а при измерении кажущихся размеров мера (напр. палец) ставится лишь между нашим глазом и предметом, не касаясь предмета, и на определенном расстоянии от глаза. Нельзя также просто сравнивать кажущиеся размеры удаленного предмета с известными земными предметами, не указывая расстояния этих последних. Нельзя, например, говорить: «Луна мне кажется с тарелку» или «с горошину»; весь вопрос в том, на каком расстоянии эту тарелку или горошину поместить. Видимые размеры у тарелки будут такие же, как у луны, если тарелку поместить на расстояние метров в 20, а если горошину поместить примерно на расстояние три четверти метра, то она тоже будет казаться таких же размеров.

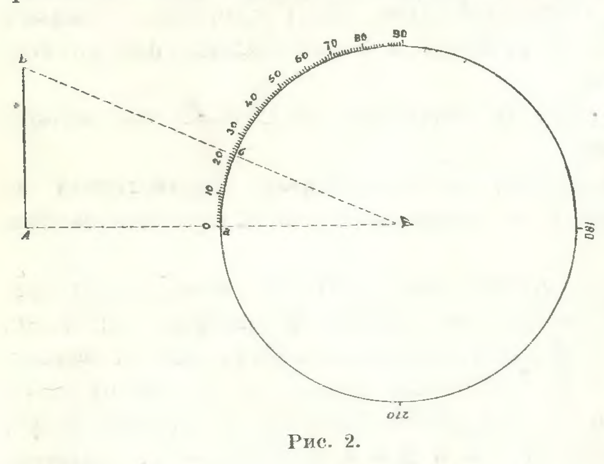


Рис. 2.

Когда мы таким грубым способом, при помощи пальца, определяли смещение предметов, то получали, конечно, не действительное, а кажущееся смещение, являющееся угловой величиной. Для точных измерений такая мера, как палец, конечно, не годится, а употребляют особую меру — градус; пусть (рис. 2) требуется определить угловое расстояние от *А* до *Б*. Вообразим себе круг, в центре (середине) которого находится глаз наблюдателя; тогда часть круга от *а* до *б* будем считать мерой углового расстояния *АБ*[1]. Разделим круг на 360 равных частей, как показано на чертеже, и одну часть назовем градусом. Не трудно видеть, что в *аб* заключается 23 таких части, поэтому угловая величина *АБ* = 23° (ноль наверху читается «градус»).

[1] Для краткости, вместо того чтобы говорить: расстояние от *А* до *Б*, говорят: расстояние *АБ*.

Ширина пальца на вытянутой руке равна приблизительно 2° (а градус — $^1/_2$ пальца); поэтому по правилу 2-му, если угловое смещение равно 1°, то расстояние до предмета будет приблизительно в $30 \times 2 = 60$ раз (точнее — в 57 раз) больше, чем действительное смещение.

Смещение небесных тел определяется так же, как мы определяли смещение какого-либо предмета относительно очень удаленных земных предметов; для точного определения угловых расстояний здесь употребляются особые приборы — угломерные инструменты; при их помощи можно измерить такие смещения предметов, которые по угловой величине во много раз меньше толщины волоска, находящегося на расстоянии вытянутой руки. А так как маленькое кажущееся смещение бывает у далеких предметов, то при помощи этих угломерных инструментов можно определять очень большие расстояния.

Небесные тела так далеко находятся от нас, что для определения их расстояния недостаточно иметь точные инструменты; если самому переместиться лишь на небольшое расстояние, например на несколько километров, то все равно никакого смещения небесных тел мы не заметим. И чтобы заметить хотя бы самое слабое смещение, наблюдателю приходится перемещаться в разные концы земли. Поперечник земли составляет 12 750 километров; и вот, оказывается, что если переместиться на такое расстояние, то величина, на которую сместится солнце, будет равна одной двестипятой части градуса; следовательно расстояние до солнца будет в $57 \times 205 = 11\,685$ раз больше поперечника земли (точнее — в 11 720 раз), что дает 149 500 000 километров; запомним расстояние до солнца в круглых цифрах: 150 миллионов километров. Расстояние это трудно себе представить. Если бы можно было проложить от нас до солнца рельсы железной дороги и пустить по ним самый скорый курьерский поезд, то этот поезд добрался бы до солнца лишь через 200 лет, а обыкновенный пассажирский поезд должен был бы двигаться примерно 1 000 лет. Если бы в такое далекое путешествие вздумали отправиться переселенцы с женами и детьми и неутомимо проходили бы километров по 30 в день, ни их дети, ни внуки, не увидали бы конца путешествия, а 500 поколений должно было бы смениться, прежде чем они дошли бы до цели.

Ясно, что и размеры солнца должны быть громадны, раз на таком большом расстоянии мы его все-таки видим. Таким же обра-

зом, каким измеряется смещение, можно измерить и угловую величину солнца. Нетрудно убедиться, что палец на вытянутой руке целиком его покрывает. Чтобы не испортить зрение, лучше опыты эти проделать с луною, кажущаяся величина которой почти такая же, как у солнца [1]. Можно самому легко убедиться, что видимый поперечник луны, а значит, и солнца раза в 3—4 меньше поперечника пальца на вытянутой руке.

Как по кажущемуся смещению мы определяли расстояние, так, зная расстояние, можно по угловому поперечнику определить истинную величину удаленного предмета, при чем правила будут сходны с приведенными нами выше:

1) если кажущийся поперечник равен одному пальцу, то истинный поперечник предмета в 30 раз меньше, чем расстояние до него; для поперечника в 1° истинная величина будег в 57 раз меньше расстояния;

2) чем больше кажущийся поперечник при том же расстоянии, тем больше и истинный поперечник предмета, и наоборот.

Если бы кажущийся поперечник солнца равнялся одному пальцу, то его истинная величина была бы в 30 раз меньше расстояния, т.-е. равнялась бы 150 милл.:30 = 5 миллионов километров; на самом же деле видимая величина в 3—4 раза меньше, так что истинная величина будет в соответственное число раз меньше, что дает от 1 700 000 до 1 250 000 *км* (круглым числом); таким образом нашим «самодельным» способом мы можем уже получить приблизительное понятие о размерах солнца.

Точные измерения дают для угловой величины солнца немного больше $^1/_2$°, что соответствует истинному поперечнику в 1 390 000 километров. Это в 109 раз больше поперечника земли. Таким образом, если бы мы рядом с солнцем поставили на небо нашу землю, мы ее едва ли заметили бы; она представлялась бы нам ничтожной, маленькой точкой, как видно на рис. 3, где показана сравнительная величина солнца и земли.

Какова истинная форма солнца? Если посмотреть на него через закопченное стекло, то оно представится нам светлым, правильным кругом, и можно сначала подумать, что оно плоское. Однако наблюдения и некоторые соображения с несомненностью показывают,

---

[1] На самом деле солнце, конечно, гораздо больше луны. Кажется оно нам приблизительно такой же величины потому, что оно гораздо дальше от нас, чем луна.

что оно шар, как и земля. Что земля — шар, в этом люди, помимо разных опытов, смогли убедиться, так сказать, ощупью: мореплаватели на своих кораблях объездили всю землю кругом и, отправляясь в одном направлении, возвращались с другой стороны. Каким же образом доказать, что и солнце — шар, а не плоский круг? Наша земля не стоит на месте, а движется, ходит вокруг солнца по кругу, или, как говорят, обращается вокруг солнца, при чем

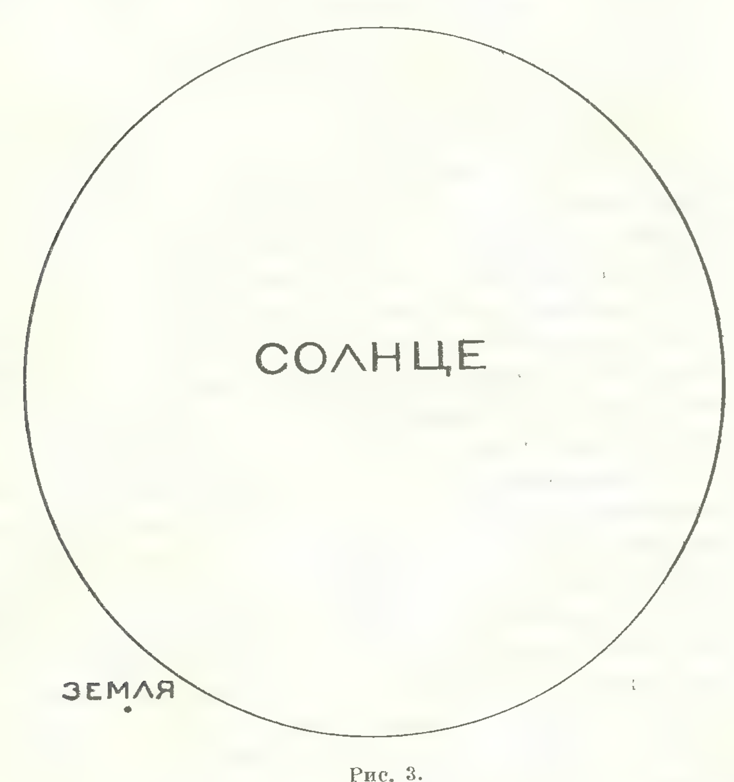


Рис. 3.

полный оборот совершает в течение одного года. Таким образом, если мы сейчас смотрим на солнце спереди, то через три месяца будем смотреть на него сбоку; если бы оно было плоским, как медная монета, то оно представлялось бы нам тогда ребром, а не кругом. Между тем для нас оно всегда одинаково правильный круг; а это может быть лишь тогда, когда оно — шар. Итак, солнце имеет такую же шарообразную форму, как и земля; оно имеет вид огромного мяча с поперечником более миллиона километров. Чтобы обойти вокруг него на быстром океанском пароходе, потребовалось бы

около 18 лет, тогда как вокруг земли такой же пароход обошел бы в два месяца.

Поперечник солнца в 100 с лишним раз больше земного. Понятно, что разница между объемом земли и солнца еще больше; если бы солнце было пустое внутри, и мы захотели бы его наполнить (плотно, без промежутков) такими шариками, как земля, то для этого их потребовалось бы свыше миллиона, именно — 1 300 000.

Астрономы не только сумели определить расстояние до солнца, не касаясь его; они ухитрились также определить вес его, не взвешивая на весах. Сделано это было при помощи следующих соображений. Всякий, наверно, видел магнит; это — кусок стали, который притягивает другие куски железа и стали. Если поднести магнит, напр., к иголке, то иголка начинает как бы сама двигаться к магниту, движется все быстрее и быстрее и, наконец, прилипает к нему. Чем ближе поднесем мы иголку к магниту, тем сильнее он ее будет тянуть к себе. Такое магнитное притяжение действует только на железо и сталь; но оказывается, что все тела — камни, дерево, земля — обладают сходным свойством притягивать друг друга. Мы этого притяжения не замечаем потому, что оно для маленьких тел очень, очень слабо, так что силы притяжения нехватает на то, чтобы сдвинуть тела с места. Но чем больше тело, тем сильнее его притяжение. Земля — тело очень большое, и мы находимся у самой ее поверхности, т. е. совсем близко, а потому сила притяжения ее велика, и чувствуется она на каждом шагу. Возьмите в руки камень, — вы почувствуете его тяжесть, он давит на руку; это потому, что земля тянет его вниз, к себе; если вы выпустите камень из рук, он будет падать, т. е. будет двигаться по направлению к земле совершенно так же, как иголка движется к магниту. Вы сами не можете далеко уйти от земли, потому что земля вас не пускает, приковывает силою своего притяжения: если вы подпрыгнете, она этою силою вас остановит и заставит упасть назад. Одним словом, куда мы ни посмотрим, везде мы встречаемся с силой тяжести. Только благодаря ей все тела держатся на земной поверхности, иначе они давно улетели бы в пространство.

Как уже сказано, не только земля, но все решительно тела обладают этой способностью притягивать. Притягивают также луна, солнце, звезды. Это свойство всех тел притягивать друг друга получило название всемирного тяготения. При этом оказалось, что, чем больше масса тела, тем сильнее оно притягивает, а чем дальше от нас оно находится, тем его притяжение слабее. Поэтому, если

знать, как сильно притягивает нас какое-либо небесное тело, и узнать расстояние до него, то можно вычислить его массу [1].

Сила притяжения солнца определена была по ее действию; эта сила удерживает земной шар, заставляя его обращаться вокруг солнца в течение года и не давая ему улететь в пространство; а по силе притяжения уже нашли массу солнца; она оказалась в 333 000 раз больше массы земли. Мы видели, что объем солнца превосходит объем земли в миллион с лишним раз; если бы солнце состояло из такого же точно вещества, как и земля, то и масса его была бы во столько же раз больше, во сколько и объем; на самом же деле солнце оказывается гораздо легче, чем мы ожидали: плотность такого вещества, из которого оно состоит, в 4 раза меньше плотности земли, и лишь в $1\,^1/_2$ раза оно тяжелее воды, тогда как земля тяжелее воды в $5\,^1/_2$ раз.

Мы говорили, что солнце притягивает тела, как и земля. Поэтому, если бы мы могли перенестись на его поверхность, то там мы тоже почувствовали бы силу тяжести; разница, однако, была бы в том, что сила тяжести на солнце в 28 раз больше, чем на земле; человек весил бы там больше полутора тонн; поэтому мы не только не могли бы ходить там, но даже шевельнуться не было бы никакой возможности, на солнце нас раздавила бы наша собственная тяжесть.

Впрочем, не из-за одной только страшной тяжести человек не мог бы находиться на солнце: еще страшнее господствующая там жара. Попробуйте посмотреть на солнце, — вы сейчас же отвернетесь: глазам станет больно, а в горящую печь или на лампу можно смотреть долго без утомления. Такой яркий свет солнце

---

[1] Масса есть количество вещества в теле. На земной поверхности массу тел сравнивают по их весу, потому что два тела, у которых масса одинакова, с одинаковой силой притягиваются землею. Поэтому меры, которыми измеряют массу и вес, получили одинаковое название; говорят, например, что некоторое количество муки равно 2 килограммам, это — масса муки; но вместе с тем и вес этого количества на земле равен двум килограммам: такую силу надо употребить, чтобы поднять это количество муки над земной поверхностью. Если бы мы с этой мукой смогли перелететь на луну, то там, конечно, масса муки осталась бы такой же — 2 *кг*; из нее можно было бы получить такое же количество питательных веществ, как и на земле. Но с весом дело обстояло бы иначе. Луна меньше по размерам, чем земля, и поэтому сила притяжения на поверхности луны в 6 раз меньше, чем на земле; все предметы там были бы в 6 раз легче, и наши два килограмма муки весили бы там уже не 2 *кг*, а всего лишь 333 грамма.

дает нам потому, что оно страшно горячо, на нем жарче, чем в самой жаркой печи на земле. У нас теплоту обыкновенно измеряют при помощи термометра, разделенного на градусы, при чем степень нагретости называют температурой. Когда лед тает, тогда температура равна 0°, обыкновенная комнатная температура равна 17° (градусы Цельсия [1], 25° считается уже жарко, а выше 50° жары на земле на открытом воздухе не бывает; при 100° кипит вода, при 1 500° плавится железо. В плавильных печах температура может достигать 2 000°. На солнце температура еще выше: близ самой поверхности она равна приблизительно 6 000 градусов, а во внутренних областях солнца неизмеримо больше. Что должно делаться с телами при такой страшной жаре, это трудно даже себе представить. На земле тела бывают трех видов: твердые (дерево, железо, камень), жидкие (вода, ртуть) и газообразные (воздух, светильный газ, пары воды). Твердые и жидкие тела обыкновенно сравнительно тяжелы и малоподвижны, газы же и пары — легки, подвижны и очень прозрачны; напр., воздух настолько прозрачен, что видеть его нельзя [2], а можно лишь чувствовать, когда дует ветер. Опыт показывает, что при нагревании твердые тела можно сделать жидкими, а жидкие — газообразными. Лучший пример, это — вода. Возьмем кусок льда; это тело твердое; если его нагревать, он скоро начнет таять и превратится в воду — жидкое тело; если воду продолжать нагревать, она закипит и начнет быстро обращаться в пар — тело газообразное. Другие тела труднее плавятся и испаряются: напр., свинец плавится при 326°, кипит при 1 500°. Тем не менее всякое тело можно в конце концов обратить в пар, стоит лишь его нагреть достаточно сильно. И вот, оказывается, на солнце так жарко, что там все тела — и вода, и камни, и железо — должны испариться; там не может быть ни твердых ни жидких тел, а одни лишь газообразные. Как у нас на земле воздух, так на солнце свободно носятся пары железа; у нас ветер влажный или сухой, а там железный, угольный, медный и т. д. Выше мы говорили, что солнце сравнительно легкое тело, в четыре раза менее плотное, чем земля; это объясняется тем, что солнце — тело газообразное, земля — твердое; а газообразные тела отличаются от твердых прежде всего именно своей малой плотностью.

---

[1] Не надо смешивать градусы температуры с градусами, которыми измеряют угловые расстояния.

[2] Очень толстый слой воздуха — в несколько километров глубины, однако, становится видимым; это не что иное, как небесная синева.

Если посмотреть на солнце через закопченное стекло, то мы увидим совершенно ровный круг; простым глазом никаких пятен или неровностей на нем обычно заметить нельзя. В этом отношении солнце сильно отличается от луны, на поверхности которой легко разглядеть темные и светлые места неправильного вида, так что



Рис. 4. Большой телескоп обсерватории Иеркса в Америке.

многим луна представляется похожей на человеческое лицо. Прежде думали, что солнце совершенно чисто: это оказалось, однако, не так. Наш глаз слишком слаб, и есть много вещей на свете, которых он разглядеть не может. Чтобы помочь глазу, была изобретена зрительная труба, которая как бы приближает и увеличивает все предметы, так что их легче разглядеть. Для исследования небесных

тел астрономы употребляют телескоп (рис. 4); это — большая зрительная труба, которая может увеличивать в несколько сот и даже тысяч раз; в нее смотрят на изучаемое небесное тело и, чтобы не забыть того, что видно, зарисовывают. Можно также фотографировать. Это выгодно потому, что снимок всегда дает точное изображение того, что есть на самом деле; нарисовать же совершенно



Рис. 5. Фотография солнца 19 мая 1910 г.

точно какой-нибудь предмет — невозможно: всегда будут ошибки; кроме того надо хорошо рисовать, что не всякий умеет.

Рис. 5 представляет фотографию солнца, сделанную таким телескопом, какой изображен на рис. 4; то, что видно на этом снимке, можно было бы рассмотреть простым глазом с расстояния, скажем, в три миллиона километров, т.-е. с расстояния в 50 раз меньшего, чем настоящее; если бы даже при помощи каких-либо аппаратов люди могли улететь от земли и путешествовать в небес-

все пространство, то на такое близкое расстояние все равно нельзя было бы подойти к солнцу из-за жары.

На этом снимке и на рис. 6 в глаза бросаются два обстоятельства. Во-первых, видно, что поверхность солнца не везде одинаковой яркости: в середине она светлее, у краев постепенно становится темнее. Причина этого вот. Как мы уже говорили, солнце —

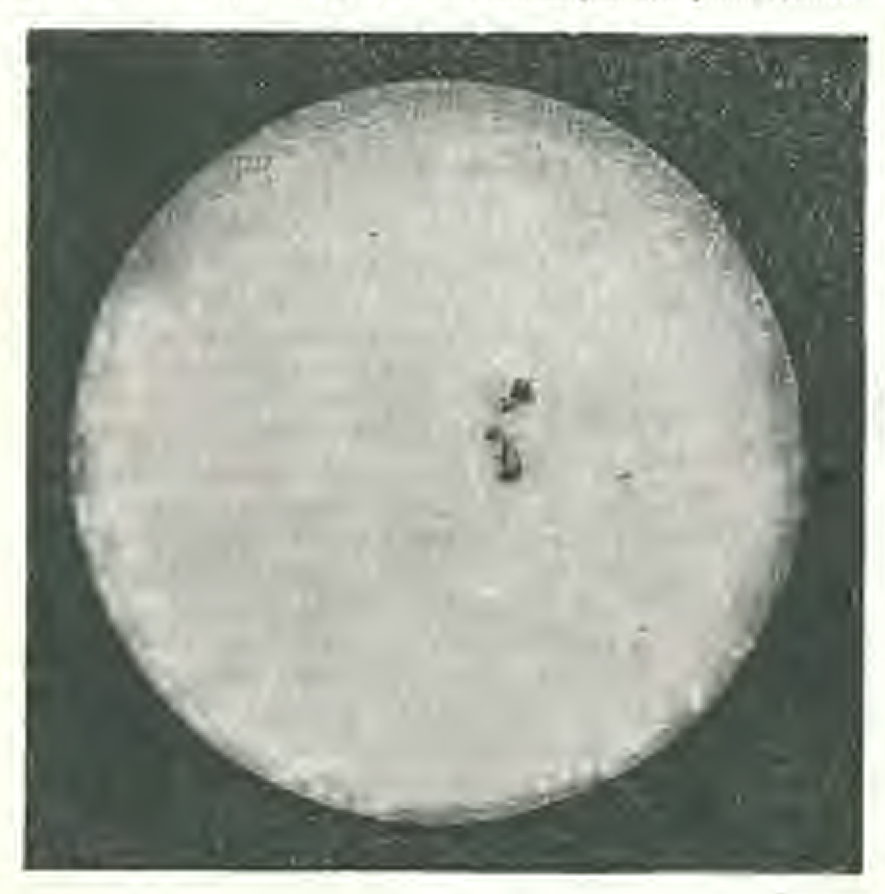


Рис. 6. Фотография солнца 9 февраля 1917 г.

тело газообразное, как воздух, и, подобно воздуху, прозрачное. Этот прозрачный газ сильно раскален и потому светится. Благодаря прозрачности свет солнца приходит к нам и от самой поверхности и из глубины, так что светится как бы целый слой солнца. Это совсем не похоже на свечение твердого тела. Если раскалить какое-нибудь твердое тело, напр. уголь или кусок железа, то све-

титься будет только самая поверхность, изнутри же свет к нам не доходит, и мы в свою очередь не можем заглянуть внутрь. Теперь, когда мы смотрим на середину солнца, наш взгляд проникает прямо вглубь, и свет к нам тоже приходит из глубоких слоев; когда же мы смотрим на солнечный край, то наш взгляд скользит по поверхности солнца, и мы видим только верхние его слои. Это подобно тому, что наблюдает человек, находящийся на лодке посреди озера: когда он смотрит прямо вниз в воду, то видит глубокие слои или дно, а когда он смотрит вдаль, то видит одну лишь поверхность воды. Итак, в середине солнечного диска [1] мы видим слои, лежащие глубоко внутри, а близ края видим верхние слои; между тем, чем глубже итти внутрь солнца, тем становится жарче, а чем раскаленнее тело, тем сильнее оно светится. Поэтому глубокие слои солнца, обладая более высокой температурой, должны светиться ярче, чем наружные слои, а так как эти глубокие слои нам видны в середине солнечного диска, то понятно, почему середина солнца кажется ярче, чем края.

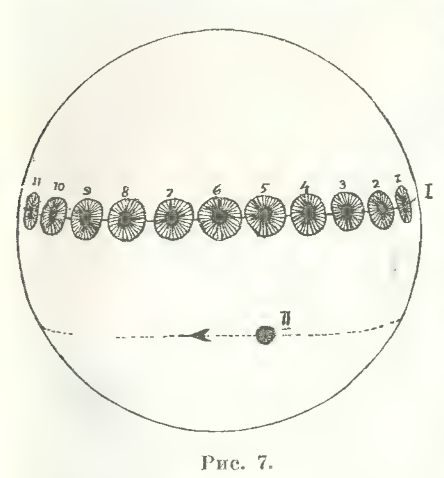


Рис. 7.

Во-вторых, на фотографии (рис. 5) бросаются в глаза темные пятна близ середины: одно побольше и ряд мелких пятнышек точек. Это есть так наз. **солнечные пятна**. Этот снимок снят 19 мая 1910 года. Если же посмотреть на солнце в какое-либо другое время, то вид будет иной; достаточно для примера сравнить этот снимок со снимком, сделанным 9 февраля 1917 года (рис. 6). Причины изменчивости внешнего вида следующие. Во-первых, пятна не стоят спокойно на месте; если заметить какое-либо пятно и следить за ним изо дня в день, то окажется, что оно медленно передвигается по диску солнца с востока на запад. Как это происходит, показано на рис. 7. Пусть наблюдатель в первый день заметил пятно близ правого края (там поставлена цифра 1); оно кажется узким, продолговатым. На второй день он смотрит опять и видит, что пятно отошло от края и находится около цифры 2;

[1] Диск — круг.

вместе с тем оно стало менее продолговатым. Положение пятна в последующие дни — на 3-й, 4-й и т. д. — обозначено *соответствующими* цифрами. По мере приближения к середине пятно становится все округлее, при чем до самой середины оно доходит приблизительно на 6 й день; затем оно отходит влево и, удаляясь снова, становится узким; на 12 13-й день оно подходит к левому краю и там исчезает. Однако, если подождать после этого две недели, то можно снова увидеть это пятно, притом почти в том же самом месте у правого края, что и в первый день; затем оно начинает опять передвигаться справа налево совершенно так же, как и в первый раз. Таким образом выходит, что пятна обходят кругом солнца. Если соединить линией те места, через которые прошло пятно, то оказывается, что оно двигалось почти по кругу. Можно таким образом проследить несколько оборотов пятна кругом солнца; правда, не всегда удается дождаться нового появления пятна. Дело в том, что солнечные пятна недолговечны: они, просуществовав некоторое время, исчезают; зато совершенно неожиданно в каком-либо другом месте солнца может появиться новое пятно. Вот это непостоянство пятен является второй причиной изменчивости внешнего вида солнца.

Оказывается, что если начать следить за любым пятном на солнечном диске, то оно обнаруживает совершенно такое же движение, какое мы описали выше. Напр. пятно II, находящееся внизу (рис. 7), совершенно в другом месте солнца, будет двигаться приблизительно с такой же угловой скоростью и, подобно пятну I, опишет совершенно такой же круг вокруг солнца; круг этот будет такого же направления, как и круг, по которому двигалось первое пятно, или, как говорят, эти круги *параллельны*. На рис. 8 изображены те круги, по которым происходит кажущееся движение различных пятен; все эти круги параллельны между собою. Время, в течение которого пятна совершают один оборот, немного меньше 4 недель.

Ясно, что если разные пятна в разных местах движутся почти совершенно одинаково, то должна существовать одна общая причина, заставляющая их двигаться. Нетрудно догадаться, что это за причина. Дело в том, что не пятна ходят вокруг солнца, а весь солнечный шар вертится — вращается, как громадный волчок, пятна же как бы прикреплены к его поверхности и вращаются вместе с нею. Итак, солнце вращается, как и земля; параллельные круги, о которых мы раньше говорили и которые изображены на

рис. 8, показывают направление вращения. На солнце есть две точки, во вращении не участвующие, а остающиеся неподвижными; называются они полюсами и на чертеже обозначены цифрою 90, наверху — южный, внизу — северный полюс (такое расположение,—юг — наверху, север — внизу,—представляется в телескоп потому, что он переворачивает изображения. Если же смотреть простым глазом, то наверху будет север, совершенно как на географических картах). Самый большой из параллельных кругов, делящий солнце пополам и проходящий на одинаковом расстоянии от обоих полюсов, называется солнечным экватором. Расстояние от экватора до полюса делят на 90 градусов (это — те градусы, которыми измерялись угловые расстояния); на рис. 8 эти градусы показаны сбоку, а через каждый десятый градус проведен параллельный круг. Угловое расстояние от экватора до какой-нибудь точки на солнечной поверхности называют *широтой* этой точки; широта может быть северная и южная, и измеряется она градусами; напр. пятно *А* (рис. 8) находится при 5° южной широты, пятно *Б* — при 30° южной широты, пятно *В* — при 20° северной широты.

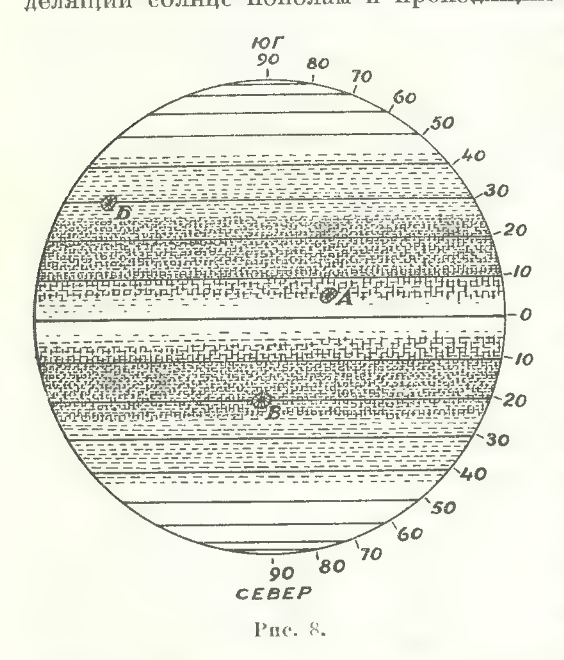


Рис. 8.

Выше мы говорили, что вращение всех пятен происходит приблизительно в одинаковое время — без малого в 4 недели; это не совсем точно. Наблюдения показали, что, чем дальше от экватора, тем медленнее происходит вращение. Около экватора вращение быстрее всего, и там пятна совершают один полный оборот в 25 дней, а в 30° от экватора вращение происходит уже в 26 $^{1}/_{3}$ дня. Результат такой неодинаковости вращения наглядно представлен на рис. 9 и 10; пусть наблюдатель заметил два пятна (рис. 9) *А* и *Б*, которые одновременно подходят к середине солнца: первое — близ экватора, второе — к югу, скажем, градусов на 30; пятна эти бу-

дут затем уходить влево, скроются и появятся через некоторое время уже с правого края. Недели через 4 пятно *А* снова подойдет к середине солнечного диска, но пятно *Б* отстанет и будет находиться еще правее середины (рис. 10), потому что в той широте, где оно находится, вращение происходит медленнее, чем на экваторе.

Таким образом солнце вращается не как одно целое, а как бы поясами: близ экватора — быстро, чем ближе к полюсам — тем медленнее. Это показывает, что солнце не может быть одним твердым телом, так как твердое тело может вращаться только целиком.

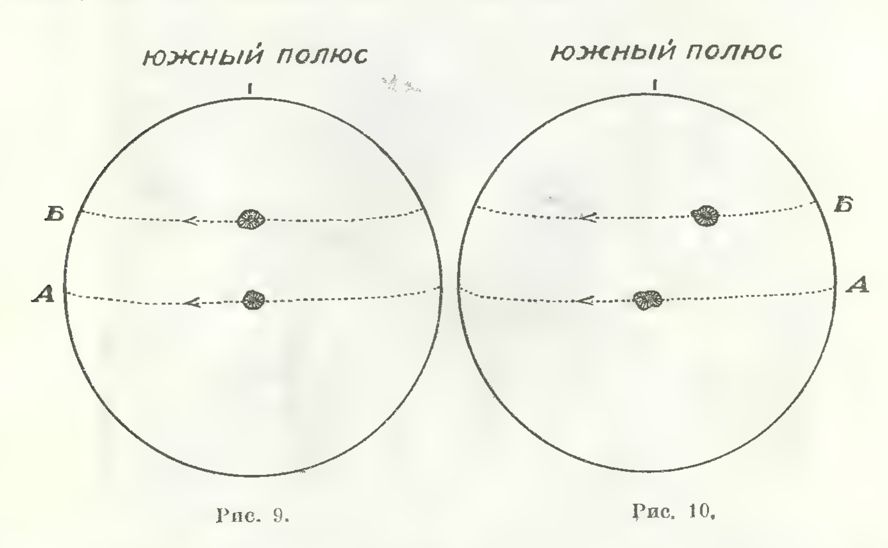


Рис. 9. Рис. 10.

Мы сравнили вращение солнца с волчком; теперь мы видим что это сравнение не совсем точно. Явление это, скорее, можно сравнить с вращением жидкости в тазу, приведенной в движение мешалкой, где тоже наблюдается неодинаковая быстрота вращения близ стенок и в середине. Выше мы говорили, что солнце так сильно раскалено, что оно может быть только телом газообразным; и вот, особенности его вращения вполне подтверждают это предположение.

Хотя вращение солнца было обнаружено благодаря наблюдению пятен, однако в полной мере исследовать его по одним только пятнам нельзя; дело в том, что пятна встречаются не по всей поверхности солнца, а лишь в определенных, так сказать, излюбленных областях, именно: большая часть пятен наблюдается в двух поясах по обе стороны от экватора, между 5° и 30° северной

и южной широты. На самом экваторе пятна наблюдаются довольно редко, а в полярных областях — от широты 45° до полюсов — они почти совершенно отсутствуют [1]. Штриховка на рис. 8 наглядно показывает распределение пятен по поверхности солнца (штриховка сделана так, что она тем гуще, чем больше в этой части солнечной поверхности встречается пятен).



Рис. 11. Солнечное пятно по фотографии Ганского 16 июля 1905 г.

Посмотрим теперь, какими еще особенностями обладают солнечные пятна. На рис. 11 вы видите перед собой снимок большого пятна, сделанный 16 июля 1905 года русским астрономом Ганским в Пулкове, где находится самая большая астрономическая обсер-

---

[1] В последнее время (в 1916 г.) наблюдали мелкие пятна при широте 70°; пятна эти, очень слабые, были открыты в Гринвиче на фотографических снимках, сделанных на мысе Доброй Надежды.

ватория в СССР; снимок этот сделан в более крупном масштабе, чем на рис. 5 и 6; здесь вы видите солнечную поверхность так, как если бы вы находились на расстоянии в сто тысяч километров от нее, т.-е. в тысячу с лишним раз ближе, чем на самом деле. Таким образом по этому снимку можно составить себе гораздо лучшее представление об общем виде солнечных пятен. Поперечник этого пятна был около 30 000 километров, т.-е. в $2\frac{1}{2}$ раза больше поперечника земного шара. И, однако, это пятно не из самых больших; сравнительно с величиной самого солнца оно ничтожно мало; оно совершенно такой же величины, как и наиболее крупное пятно на рис. 5 и значительно уступает тем пятнам, которые видны на рис. 6. Пятна такой величины на солнце — обычные явления, зато изредка наблюдались пятна, раз в 5—7 превосходившие это пятно по размерам, т.-е. достигавшие сотен тысяч километров в поперечнике; такие большие пятна можно видеть легко и простым глазом через закопченное стекло. Очень крупные пятна людям случалось видеть и в прежние времена, когда не было еще зрительных труб; напр. в древних китайских летописях более 1 500 лет тому назад не раз упоминается о пятнах, виденных на солнце. Видели пятна и в средние века в Европе, но в те времена люди никак не могли поверить этому: они считали солнце совершенно чистым, и когда видели пятно, то обыкновенно думали, что это какое-то темное тело находится между ними и солнцем. Таким суеверным предубеждением и объясняется то, что в существовании солнечных пятен люди убедились только лишь триста лет тому назад, когда была изобретена зрительная труба и в первый раз направлена на небесные тела. Да и то многие долго не хотели этому верить, а римская церковь даже считала еретиками тех, кто осмеливался утверждать, будто на солнце есть пятна. Но вернемся к нашему пятну.

Это пятно, фотографию которого вы видите на рис. 11, можно считать образчиком солнечных пятен вообще; большинство пятен похоже на него по своему строению. Поэтому рассмотрим его повнимательнее. В середине находится совершенно темное место, это так называемая *тень* пятна; она у этого пятна рассечена пополам светлой полосой; такая полоса у других пятен обыкновенно отсутствует, и о ней будет речь впереди. Тень пятна со всех сторон окружена более светлой каймой, по которой протянулось множество как бы струек или волосков. Эта кайма называется *полутенью*. Тень и полутень, это — главные части всякого пятна. Очень маленькие

пятна полутени не имеют; такие пятнышки называются *порами*. Направо вниз от большого пятна на рис. 11 видно несколько таких пор. Все пятно по внешнему виду напоминает как бы огромную яму или отверстие внутрь солнца; однако судить по внешнему виду, конечно, нельзя, и для астрономов долго оставалось тайной, что собой на самом деле представляют солнечные пятна; существовало много противоречивых мнений на этот счет, и лишь в самое последнее время удалось хоть немного разобраться в этом вопросе. О том, как ученые, наконец, добрались до тайны солнечных пятен, мы подробнее поговорим впоследствии, здесь же



Рис. 12. Группа пятен 25 июня 1905 г.

вкратце скажем лишь самое главное. Солнце представляет собой как бы громадный раскаленный океан, в котором нет ничего твердого, где все вещества вследствие высокой температуры обращены в пар; там все находится в непрестанном движении. И вот, иногда посреди этого бушующего моря раскаленных газов образуются огромные вихри—водовороты; это и есть солнечные пятна. В пятне газы поднимаются из глубоких недр солнца на поверхность и там растекаются во все стороны; те струйки, которые видны в полутени (рис. 11), повидимому, и представляют собой потоки, которыми вещество выливается из пятна. Вследствие такой вихреобразной природы в пятнах происходят бурные передвижения и изменения: часто пятно в течение нескольких дней и даже часов так

сильно изменяется, что его узнать нельзя. Посмотрите, например, на светлую полосу, пересекающую тень нашего пятна: три недели



Рис. 13. Группа пятен 26 июня 1905 г.



Рис. 14. Группа пятен 27 июня 1905 г.

Рис. 12—14. Изменения в солнечном пятне (слева) по снимкам Ганского.

перед тем этой полосы не было. Рис. 12 показывает вид этого пятна 25 июня 1905 г. (левое пятно); здесь чернота тени ничем

не нарушена. На следующий день в правом нижнем углу (рис. 13) появился огненный выступ, который 27 июня (рис. 14) протянулся еще дальше и пересек почти все пятно. Изменения, происшедшие здесь в течение двух суток, так велики, что при взгляде на рис. 12 и 14 трудно было бы предположить, что это — снимки одного и того же пятна.

Мы один раз уже упомянули, что пятна — образования непостоянные. Они неожиданно появляются в каком-либо месте солнечного диска, затем, просуществовав некоторое время, в течение которого могут подвергнуться самым причудливым изменениям, вроде описанного выше, исчезают бесследно. Такой временный характер пятен вполне понятен; в том океане без берегов и дна, который называется солнцем, нет ничего неизменного, ибо там нет ничего твердого, что могло бы служить поддержкой или из чего можно было бы построить что-нибудь прочное. Обыкновенно срок жизни одного пятна не превосходит 1—2 месяцев, хотя бывали пятна длительностью до полутора лет. Мелкие пятна иногда пропадают уже через несколько дней.

Вернемся, однако, еще раз к рис. 11 и вглядимся в поверхность солнца, окружающую пятно; эта поверхность оказывается *зернистой*; маленькие светлые зернышки, отделенные друг от друга более темными промежутками, покрывают всю солнечную поверхность как бы сеткой. Зернышки эти называются *гранулами*, а сеть, которую они образуют,—*грануляцией* [1]. На рис. 5 и 6 грануляции не видно, так как снимки эти сделаны в слишком малом размере, и гранулы, будучи очень мелки, сливаются вместе: они могут быть видны только при сильных увеличениях, как на рис. 11. На рис. 15 дан специальный, сильно увеличенный снимок части солнечной поверхности, сделанный 25 июня 1905 г. Ганским. На этом снимке в середине видна пора — маленькое пятно без полутени, а кругом — запутанная сеть грануляции. Таким образом оказывается, что, даже не считая пятен, поверхность солнца далеко не такая однообразная, как можно было бы подумать. Отдельные зернышки-гранулы бывают различной величины — от 200 до 2 000 километров в поперечнике, обыкновенный же размер их — около 700 километров, т.-е. приблизительно как расстояние от Ленинграда до Москвы. Для солнца такое расстояние надо считать очень маленьким (вспомните размер солнца!). Эти гранулы не стоят спокойно на месте, а ка-

[1] К сожалению, на репродукции грануляция плохо видна.

ходятся в непрерывном движении: одни появляются, другие исчезают, при чем так быстро, что если сделать два снимка с промежутком всего только минут в 10, то почти ни одной старой гранулы больше найти нельзя; тогда как солнечные пятна существуют



Рис. 15. Солнечная грануляция.

в течение нескольких месяцев, продолжительность жизни гранул не превосходит нескольких минут. Гранулы эти можно сравнить, пожалуй, с волнами на поверхности моря. Только волны эти — громадные, измеряются они сотнями километров, и передвигаются

необычайно быстро, на несколько километров в одну секунду Невольно вспоминаются слова великого русского ученого-самоучки и поэта [1] о солнце: «Там огненны валы катятся и не находят берегов».

Кроме пятен и гранул, на солнце можно в телескоп видеть еще *факелы*; это яркие области, имеющие вид извилистых светлых полос и нитей (рис. 16). Встречаются они чаще всего по соседству



Рис. 16. Факелы на солнечной поверхности.

с пятнами, но также и отдельно. В отличие от пятен они наблюдаются по всей поверхности солнца как на экваторе, так и близ полюсов: однако наибольшее количество их бывает в тех же поясах, которые излюблены и солнечными пятнами. Факелы, повидимому, плавают, как облака, несколько выше обычной поверхности

[1] М. В. Ломоносова.

солнца; в них вещество — раскаленный газ. — наверно. опускается вниз в противоположность пятнам, где течение идет преимущественно изнутри солнца наружу.

Временами какой-то темный круг закрывает собою солнце, и тогда происходит солнечное затмение. Прежде люди, не зная причины этого явления, невольно опасались, как бы солнце не исчезло навсегда, оставив землю посреди холода и мрака. Китайцы, напр., думали. что это черный дракон хочет проглотить солнце, и, чтобы напугать его, производили невероятный шум: били в барабаны и т. д., и появление солнца вновь истолковывали как победу над драконом.

Мы знаем теперь истинную причину затмений. Темный круг, это — луна, которая иногда становится между нами и солнцем и закрывает его совершенно так же, как можно закрыть солнце ладонью. Большинство людей у нас не боится затмений, а всякий вооружается закопченным стеклом и следит за необычным явлением. Многие из читателей, наверное, помнят затмения в апреле 1912 года и в августе 1914 г. Чаще всего солнце закрывается не целиком, и тогда затмение называется *частным*. Частное затмение для исследования солнца представляет малый интерес. Зато во время *полного* затмения, когда луна закрывает солнце целиком, можно увидеть много вещей, которых среди бела дня увидеть не удается, и поэтому полные затмения много помогают в деле изучения солнца. Чтобы их наблюдать, астрономы снаряжают целые экспедиции и едут вместе со своими инструментами в далекие страны, где можно будет наблюдать затмение. В 1914 году, напр., на западе и юге европейской части современной СССР было видно полное затмение солнца, и тогда к нам понаехало множество астрономов со всех концов света—из Англии, Франции, Германии. Америки, не считая наших, русских. Между тем полное затмение тогда продолжалось лишь около 2 минут, и вот ради этих двух минут, в течение которых можно было наблюдать, делать рисунки, снимки и т. д., люди проезжали тысячи километров. Вот насколько важным считается это явление.

Что же видно во время затмения? Когда луна окончательно закрывает солнце, становится темно, как в сумерки вскоре после заката, и в этот момент вокруг солнца становится заметным нежное серебристое сияние: это — солнечная корона. Рис. 17 представляет вид (по снимку Ганского) короны во время затмения 1905 г. наблюдавшегося в Испании. Здесь корона состоит из множества

отдельных лучей, расходящихся во все стороны. Кроме короны, слева видно множество маленьких выступов, это — *протуберанцы*, или солнечные извержения. Всякий слышал, наверно, про вулканы или огнедышащие горы на земле; вулкан, это — гора с отверстием или жерлом посредине; отверстие это ведет, подобно огромному колодцу, глубоко внутрь земли. И вот, по временам оттуда вырываются горячие газы и пары, вылетают раскаленные камни и пепел, а по склонам растекается расплавленная масса—лава; такое извержение может погубить все на много верст кругом. Много раз гибли города с десятками тысяч населения. Так вот, и на солнце могут происходить извержения, только гораздо крупнее наших. Табл. I представляет рисунок одного из таких извержений, сделанный итальянским астрономом Таккини во время затмения 28 мая 1900 года. Рисунок этот сделан по наблюдениям в телескоп; простым глазом столько увидеть нельзя. Черный круг внизу, это — часть луны, за нею только что скрылся ослепительно яркий край солнца. Яркий свет больше не мешает смотреть, и глазам представляется волшебная картина. Внизу — красная полоска, напоминающая поле, на котором беспорядочно растут красные былинки, или огненное море с острыми язычками пламени. Эта полоска есть *хромосфера*, что означает по-гречески «цветной слой». Такое название она получила вследствие своей розовато-красной окраски. Как показали наблюдения, хромосфера со всех сторон плотно облегает солнце, совершенно подобно тому, как воздух окружает землю; окружающий земной шар воздух вместе со всеми облаками и парами носит название земной *атмосферы*; так вот, хромосфера— это есть атмосфера солнца. То, что находится ниже хромосферы и не видно во время затмения,— яркая поверхность солнца, излучающая свет и тепло,— называется *фотосферой*, что значит «светящийся слой».

На нашем рисунке с правой стороны видны два столба, поднимающиеся над хромосферой, — это и есть протуберанцы. Здесь раскаленный газ действием какой-то неизвестной силы выброшен на громадную высоту. Высота протуберанцев достигает нескольких сот тысяч километров; если бы земной шар попал в такой огненный поток, то моментально все на его поверхности погибло бы в пламени, моря и океаны вскипели бы, как капля воды, попавшая на раскаленный камень.

Лучи, выдающиеся повсюду над хромосферой, это — часть солнечной короны. В противоположность протуберанцам, в которых



Рис. 17. Солнечная корона по фотографии Ганского во время затмения 30 августа 1905 г.

происходят бурные извержения, корона, повидимому, представляет собой более спокойное образование, она как бы продолжение солнечной атмосферы (хромосферы); состоит она, по всей вероятности, из мельчайшей пыли, оторвавшейся от солнца и уносящейся в пространство. Лучи короны — как бы потоки этой пыли, выброшенной в одном направлении.

Солнечную корону до сих пор удавалось наблюдать только во время затмений. Ясно, конечно, что в обычное время, когда затмения нет, и солнце светит с полной силой, корона окружает солнце



Рис. 18. Солнечная корона по фотографии Джуэлля во время затмения 28 мая 1900 г.

совершенно таким же образом; но она не видна, потому что свет ее очень слаб, и яркий свет солнца совершенно затмевает ее своим блеском. Затмения же бывают редко—примерно раз или два в год, притом в разных концах земли, и всякий раз вид короны бывает совершенно иной; напр. на рис. 18 представлен снимок короны 1900 года. (На рис. она темная, как на фотографической пластинке — негативе.) Сравнительно с первым изображением разница большая: в 1905 году лучи короны расходятся от солнца в общем равномерно во все стороны, а в 1900 году корона была вытянута в длину, по направлению солнечного экватора, и близ полюсов

были видны лишь мелкие лучи. Таким образом корона, как и все на солнце, подвержена постоянным изменениям; к сожалению, из-за невидимости ее при солнечном свете нет возможности проследить, каким именно образом эти изменения происходят.

Все те сведения, которые мы сообщили в этой главе о явлениях на солнце, а именно—о пятнах, грануляции, протуберанцах, короне,—все они получены от исследования внешнего вида солнца при помощи телескопа, путем ли фотографии или непосредственным наблюдением. При этом не все можно видеть сразу: корона, протуберанцы, хромосфера видны лишь во время затмений, в обыкновенное же время днем их наблюдать нельзя, так как мешает яркий солнечный свет. Однако лет 50 тому назад нашли способ наблюдать протуберанцы и хромосферу в любое время дня, когда светит солнце; этому помог особый инструмент, называемый спектроскопом. Об этом инструменте и о том, что нового узнали при его помощи люди, будет речь в следующей главе.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СОЛНЕЧНАЯ АТМОСФЕРА И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все, что мы знаем о небесных телах, нам принес свет. Если мы захотим ближе познакомиться с каким-нибудь земным предметом, мы можем подойти к нему, ощупать его, взять в руки, взвесить, попробовать на вкус, наконец можем слышать звуки, издаваемые им. С небесными телами дело обстоит иначе: они слишком далеки от нас, и дорóги к ним нет. Ни один звук не долетает к нам от них или от нас к ним; это — потому, что звук может распространяться только через тела – воздух, воду, камень и т. д., а между нами и небесными светилами ничего нет,—там одно лишь пустое пространство,— нет даже воздуха. Воздух, или, как еще говорят, атмосфера, окружает землю лишь тонким слоем. При подъеме над поверхностью земли он становится все реже и реже; по этой причине на высоких горах или при полете на воздушном шаре бывает трудно дышать, ибо там уже воздуха мало; на высоте в $5^1/_2$ *км* плотность воздуха вдвое меньше, чем у земной поверхности; на высоте в 30 километров его остается лишь одна сотая часть, а на 500 километров и дальше — воздуха совсем нет. Вот почему мы не можем слышать того, что происходит на небе; светила небесные — звезды, солнце, луна — навсегда останутся для нас тихими и немыми. На солнце происходят громадные извержения и страшные взрывы, сравнительно с которыми земные бури и извержения — ничто; все там должно быть наполнено невообразимым шумом и грохотом. И тем не менее для нас оно молчит — ни звука не доходит до нас, и нам остается только *смотреть* на него, смотреть и примечать. Таким образом световой луч, это — единственный вестник, сообщающий нам о том, что происходит на далеких небесных мирах, и вся работа астронома, занятого изучением строения небесных тел, сводится к тому, чтобы возможно лучше прочесть сообщения долетающего к нам света. Со

общает же он много, только надо уметь прочесть сообщение, а это сделать нелегко. Когда мы просто смотрим на солнце через закопченное стекло, мы не видим ни пятен (за редкими исключениями), ни грануляции, ни факелов; все это есть на солнце, но невооруженный глаз слишком слаб, чтобы прочесть эту скрытую в световом луче весть; но стоит взять телескоп, увеличивающий и приближающий к нам солнце, и удивленному глазу представляются пятна с их тенью и полутенью: вся поверхность солнца кажется покрытой тончайшей сетью мелких зернышек — гранул, а в отдельных местах видны как бы светящиеся облака — факелы. Благодаря нашему инструменту скрытое стало видимым, и несколько тайн солнца нами вырвано у светового луча. Иногда тайны обнаруживаются случайно. Так, во время солнечных затмений показывается обычно скрытая даже для телескопа корона. Но такие случаи, как солнечные затмения, бывают чрезвычайно редко, ясно, что исследователь солнца не может положиться на счастливые случайности, если он действительно хочет проникнуть в тайны, окутывающие великое светило: ему пришлось бы долго ждать, и, может быть, в тысячи лет было бы сделано при помощи простых наблюдений то, что теперь узнается в течение одного года, а большинство тайн осталось бы скрытым навсегда. Поэтому все внимание наблюдателей направлено на изобретение новых приборов или инструментов, которые дают возможность прочесть и понять то, что скрыто в световом луче. Вот о свете и об инструментах для его исследования мы сейчас и будем говорить.

Свет движется страшно быстро, так быстро, что малые расстояния он проходит, можно считать, моментально. Если вдали стреляют из пушки, то огонь виден в тот же момент, звук же выстрела запаздывает; это происходит потому, что звук распространяется сравнительно медленно: он проходит один километр приблизительно в 3 секунды; свет же за это время успеет пройти почти миллион километров. Ясно, что при такой скорости все земные расстояния для света ничто, и каждое событие, которое мы наблюдаем на земной поверхности, видно в тот самый момент, когда оно совершается. В мире нет большей скорости, чем скорость распространения света. Таким образом хотя свет — единственный вестник, сообщающий нам о том, что творится на небе, зато это вестник самый быстрый, и приносит он самые свежие новости. Всего только в 8 минут пролетает он от солнца к нам, и, следовательно, мы видим солнце всегда таким, каким оно было 8 минут тому назад.

Первый инструмент, примененный исследователями неба для того, чтобы выманить скрытые в световом луче тайны, это — телескоп, или подзорная труба. Внешний вид современного телескопа показан на рис. 4. Устройство его состоит в общих чертах в следующем. Наверно всякий видел увеличительное («зажигательное») стекло; оно имеет вид чечевицы и называется чечевицей или линзой. Такая большая линза находится у переднего конца телескопа и называется *объективом*; объектив собирает падающие на него лучи близ заднего конца трубы в точке, называемой *фокусом*. В фокусе получается маленькое изображение, представляющее точную копию того предмета, на который мы смотрим, напр. солнца, и называемое *фокальным* изображением; это фокальное изображение рассматривают через увеличительное стекло, называемое *окуляром*. Объектив и окуляр соединяются трубою, которая служит для защиты от постороннего света, а труба устанавливается на особом станке, дающем возможность с удобством направлять телескоп на любую часть неба; все вместе имеет вид, изображенный на рис. 4; там видно еще множество мелких приспособлений, служащих для разных передвижений, измерений и т. д. Когда собираются фотографировать при помощи телескопа, то окуляр удаляют, а в фокус ставят фотографическую пластинку; тогда то фокальное изображение, о котором мы говорили, в точности отпечатается на пластинке. О выгодах фотографирования сравнительно с простым наблюдением мы уже упомянули: пластинка в одно мгновение запечатлевает все, что есть в данный момент на солнце; на солнце — миллионы различных предметов, и не только зарисовать, даже схватить глазом все зараз не представляется возможным; снимок же это выполняет без всяких затруднений. Стоит только посмотреть на рис. 15, на эту сложную сеть грануляции; зарисовать все это невозможно уже потому, что все это быстро меняется, и пока успеешь зарисовать одно пятнышко, все другие успевают совершенно изменить свой вид. Или пятно на рис. 11. Рука опытного художника, правда, смогла бы нарисовать нечто похожее на него, но мелкие штрихи и подробности были бы, наверное, не те, ошибочны были бы и размеры, так как совершенно точно человеческая рука рисовать не может.

О том, что мы узнали о солнце благодаря одному только телескопу, мы в общих чертах уже говорили в главе I и сейчас об этом распространяться больше не будем. Теперь мы обратимся к более скрытым свойствам светового луча и к инструментам,

которые благодаря этим свойствам дают возможность узнать новое о солнце.

Солнечные лучи падают на землю и освещают предметы на ее поверхности, делая эти предметы видимыми для глаза. Постараемся глубже вникнуть в смысл слов: «мы видим данный предмет», напр. камень. Это значит, что от камня исходят лучи света и попадают в наш глаз. Откуда берется этот свет? Нетрудно убедиться, что камень сам его не испускает; действительно, в темноте, напр. ночью, камень не виден, хотя остается он таким же, каким был днем. Раз так, то свет, благодаря которому мы видим камень, берется из какого-либо постороннего источника. Этот источник света—солнце; его лучи, падая на камень, отбрасываются от него во все стороны, или, как говорят, *отражаются* камнем; таким образом свет, исходящий днем от камня или от большинства других предметов, это — *тот же самый солнечный свет.*

Все такие предметы, которые собственного света не испускают, называются *несамосветящимися*; зато есть предметы, которые светятся сами, напр. огонь: он одинаково виден как ночью, так и днем, ночью даже лучше, так как посторонний свет не мешает. Такие предметы называются *самосветящимися.* Солнце тоже есть тело самосветящееся.

Обратимся к несамосветящимся телам. Мы знаем, что они бывают разных цветов — зеленые, красные, белые и т. д., а так как эти предметы одинаковым образом берут свой свет от солнца, то и красный свет, и зеленый, и синий—все они должны содержаться в солнечных лучах, и мы приходим к важному заключению: солнечный свет, кажущийся нам однообразно белым, состоит из самых разнообразных цветов; все эти цвета лишь смешаны между собою и дают вместе впечатление белого. Здесь перед нами открывается один из секретов светового луча; надо лишь суметь им воспользоваться.

Итак, белый свет не простой. а составной: он состоит из отдельных цветов. Каким же образом выделить все эти цвета, или, как говорят, разложить белый свет на его составные части? Оказывается, что при прохождении через прозрачные тела, напр. капельки воды, куски стекла, белый свет сам собою распадается на те цвета, из которых он состоит. Всякий видел радугу и, наверное, заметил, что она бывает, когда во время дождя светит солнце; происходит она от того, что лучи солнца, проходя через капли дождя, разлагаются на составные цвета, так называемые

«семь цветов радуги», которые располагаются в определенном порядке: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий. фиолетовый. Такие же радужные цвета получаются, когда свет проходит через стеклянные брусочки у ламповых люстр в освещенном зале. И вот, для того чтобы по нашему желанию разлагать любой свет на его составные части, был изобретен прибор, упомянутый нами в конце предыдущей главы, — спектроскоп. Устройство простейшего спектроскопа можно уяснить из чертежа (рис. 19). Вообразим себе ящик, одна стенка которого удалена,



Рис. 19.

чтобы можно было смотреть внутрь. С левой стороны ящика вырезана узкая щель; внутри на уровне щели поставлен трехгранный стеклянный брусок, называемый призмой. Стоит призма ребром кверху, плоским основанием книзу.

Слева на стенку ящика падают солнечные лучи и через щель проникают внутрь.

Если бы призмы не было, то на противоположной стенке, там, где пунктиром проведена полоска (*В*), получилась бы светлая полоска от солнечных лучей такого же вида, как и щель. На самом же деле лучи от щели, пройдя через призму, вместо узкой белой полоски дадут несколько ниже широкую разноцветную полосу или спектр (*КФ*). На нашем чертеже спектр виден плохо; поэтому спектр солнечного цвета изображен отдельно на табл. II, № 1. Здесь мы опять видим эти «семь цветов радуги», расположенные в определенном порядке: красный — слева. фиолетовый — справа; переход от одного цвета к другому очень постепенный,

так что кроме главных цветов можно отличить бесчисленное множество оттенков; кроме того спектр пересечен темными линиями, о значении которых будет сказано ниже. Кто бы мог подумать, что такой с виду простой свет, как белый, на самом деле состоит из такого разнообразия цветов и оттенков! Здесь мы лишний раз убеждаемся, насколько наружность обманчива: в мире не все таково, каким оно нам кажется. Таким образом выходит, что белый свет не простой, а состоит из красного, желтого, зеленого и многих других оттенков, и обнаруживается это благодаря простому стеклышку, называемому призмой. Каким же образом это стеклышко может творить такие чудеса? Дело в том, что призма обладает свойством отклонять, или, как говорят, *преломлять*, световые лучи; именно луч, пройдя через призму, отклоняется в сторону ее плоского основания (или в противоположную сторону от ребра); вернемся к рис. 19. Здесь основание призмы обращено книзу, поэтому и лучи отклонятся книзу. Далее, преломление для лучей разного цвета — различно: слабее всех отклоняются красные, желтые — сильнее, синие — еще сильнее, а фиолетовые — сильнее всех. В белом свете, выходящем из щели, все цвета перемешаны между собою; лучи красные, в скрытом виде содержащиеся в белых лучах, пройдя через призму, отклоняются, но не особенно сильно, и дадут на стенке красную полоску против буквы *К*; зеленые лучи отклоняются сильнее и дадут полоску ниже красной (*З*), а фиолетовые дадут самую низкую полоску (*Ф*); остальные цвета дадут полоски между этими тремя цветами, и, таким образом, образуется сплошная полоса — спектр, как на табл. II.

В таком простом виде прибор при научных исследованиях, конечно, употребляться не может; для них строятся более сложные инструменты — спектроскопы, у которых бывает не одна, а несколько призм и, кроме того, стекла — линзы, какие имеются и у телескопа. Вместо того чтобы просто смотреть, обычно спектр фотографируют, и спектроскоп, служащий для фотографирования, называется спектрографом. На рис. 20 изображен спектрограф, прикрепленный к телескопу; при помощи него можно исследовать спектры небесных тел.

Здесь у некоторых читателей может явиться недоумение: как это можно фотографировать спектр? Ведь обычная фотография цветов не передает, а спектр — цветная полоса? Дело в том, что главный интерес представляют вовсе не цвета спектра, а темные линии, которые могут пересекать спектры небесных тел (табл. II,

№ 1); они же фотографией воспроизводятся легко. Значением их мы теперь и займемся.

При помощи спектроскопа можно разложить на составные части любой свет, или, выражаясь иначе, можно получить спектр любого источника света. Оказывается, что спектр бывает различный, смотря по тому, в каком состоянии находится тело. Если взять какое-либо добела раскаленное твердое или жидкое тело, напр. кусок железа, уголь, электрическую лампочку или расплавленную платину, то спектр будет такой, как изображено на



Рис. 20. Спектрограф Ликской обсерватории.

табл. II, № 2. Это — совершенно такая же полоса, как и солнечный спектр, только сплошная, без темных линий; называется такой спектр *непрерывным*. Все раскаленные (самосветящиеся) твердые или жидкие тела обладают непрерывным спектром.

С парами и газами дело обстоит иначе. Если взять несколько крупинок обыкновенной поваренной соли и бросить в пламя спиртовой горелки, то пламя станет *желтым*. Поваренная соль содержит в себе особое вещество — металл натрий. В пламени этот металл от жары обращается в пар, как вода при кипении, и пары натрия начинают светить особым желтым светом. Что же полу-

чится, если пропустить лучи этих паров через спектроскоп? Посмотрите на полосу № 3, табл. II, — это и есть спектр паров натрия. Вы видите только тонкую желтую линию и больше ничего. Следовательно состав света, испускаемого парами натрия, очень простой: там нет ни красных, ни зеленых и т. д. лучей, а есть лишь желтые лучи, притом определенного оттенка. Такой спектр называется *линейчатым*, или прерывистым; все газы и пары в разреженном состоянии имеют линейчатый спектр; для разных газов разница состоит лишь в цвете и числе линий. Для примера на табл. II, № 5 представлен еще спектр светящегося водорода (водород — чрезвычайно легкий газ, одна из составных частей воды); здесь 3 линии: красная, зелено-голубая и синяя.

Спектр № 2 принадлежит раскаленному твердому телу, напр. электрической лампочке. Если этот свет пропустить через пары натрия (для этого можно перед электрической лампой поставить спиртовку, в которую подсыпана соль), то спектр примет вид как на табл. II, № 4: сплошной спектр пересечет темная линия как раз в том самом месте (желтый цвет), где раньше в спектре № 3 была светлая линия натрия. Объясняется это следующим образом. Когда свет встречает на своем пути какие-либо тела, он ослабляется, или как говорят, *поглощается*, при чем разные тела поглощают по-разному: некоторые тела совсем не пропускают света, как уголь, железо; другие пропускают, но очень мало, как закопченное стекло, — здесь поглощение сильное; наконец есть тела, которые очень мало поглощают и почти весь свет пропускают, как чистое стекло или воздух; это — тела прозрачные.

Некоторые тела обладают свойством поглощать лучи определенного цвета и пропускать другие; напр. красное стекло легко пропускает красные лучи и поглощает остальные.

Оказывается, что при поглощении света строго соблюдается следующее правило: тело поглощает лучи как раз такого цвета, какого цвета лучи оно в том же самом состоянии при той же температуре, давлении и других условиях испускает. Это правило выражает зависимость между лучеиспусканием и поглощением; его надо хорошо запомнить, так как оно не раз понадобится нам в дальнейшем.

Теперь становится понятным вид спектра № 4: пары натрия, находящиеся в пламени спиртовой горелки, отнимают от белых лучей электрической лампы как раз те самые желтые лучи, какие они испускают, так что в непрерывном спектре в желтых лучах

образуется пустое место, — это и есть темная линия. Правда, пары натрия сами тоже излучают свет, но так как пламя спиртовой горелки слабее накалено, чем электрическая лампа, то и свет, испускаемый парами, слишком слаб и не может заменить собою ту часть электрического света, которую эти пары сами поглотили.

Для газов можно сделать следующие дополнения к вышеприведенному правилу: 1) Различие температуры часто не имеет большого значения, так что более холодный газ обыкновенно поглощает те же самые лучи, какие испускает тот же газ в раскаленном состоянии. Но бывает и так, что раскаленный газ начинает испускать иные лучи, чем холодный; тогда говорят, что спектр газа меняется с температурой. Это изменение бывает тем сильнее, чем выше температура. 2) Если давление не велико, то изменение давления тоже вызывает лишь незначительные изменения. 3) Особенно важную роль играет тот способ, каким заставляют газ светиться; один способ, это — накаливание газа; в этом случае лучеиспускание раскаленного газа называется температурным свечением. Но сверх того можно заставить газ светиться при помощи электричества — электрической искры, дуги и т. д. Оказывается, что хотя часто в обоих случаях получаются лучи одинакового цвета, но вообще лучеиспускание бывает различное; разница для многих веществ доходит до того, что можно счесть получаемые спектры за спектры совершенно различных тел. Примером может служить водород; тот спектр на табл. II, № 5, о котором мы раньше говорили, может быть получен на земле, в лабораториях, исключительно при воздействии электричества; просто же раскаленный водород дает совсем иные линии. (О спектре водорода будет сказано в дальнейшем особо.) Само собою разумеется, что все упомянутые особенности свечения газов тщательно исследуются и в значительной мере уже исследованы, так что ими можно пользоваться для изучения свойств небесных тел.

Спектр вроде № 4 (на табл. II), где на светлом фоне получается более темная линия, называется *спектром поглощения*; спектры же, подобные № 3 или № 5, получающиеся от самосветящегося газа, называются *спектрами излучения*. Темные линии спектра поглощения какого-либо газа или пара в точности совпадают по положению (или, что то же самое, по цвету) со светлыми линиями того же самого газа, находящегося вообще при тех же условиях; но часто, как уже было сказано выше, не очень большая разница в температуре или давлении не играют особенно большой роли.

либо одного слоя; в этом отношении кальциевые снимки гораздо удобнее, так как пары кальция мало прозрачны, и каждый снимок есть действительно изображение одного только узкого слоя. Такой прозрачностью водорода можно объяснить то, что на снимке верхнего его слоя (рис. 36) крупные хлопья совершенно отсутствуют; вспомним картину, которую давала фиолетовая линия водорода (рис. 31) или средний его слой (как мы теперь будем называть этот снимок): там все хлопья получались наоборот; при снимках же верхнего слоя водорода благодаря его прозрачности должны сразу получиться хлопья среднего слоя кальция как (рис. 29) и



Рис. 39. Спектрогелиограммы бурного протуберанца.

обратные хлопья среднего водорода (рис. 31); светлые места первого слоя должны совпасть с темными местами второго и наоборот, и в результате вид поверхности должен получиться ровный: хлопья перестанут быть видными.

Спектрогелиограф оказался очень полезным в деле изучения протуберанцев; раньше, рассматривая их в узкую щель, в которую часто протуберанец целиком не помещается, было трудно передать с точностью их вид, величину и т. д. Теперь же явилась возможность воспользоваться всеми преимуществами фотографии — точностью. быстротой и т. д. Пример снимка протуберанца мы уже видели на рис 37, — это был протуберанец спокойный, долговременный. Рис. 39 дает нам картину бурного протуберанца — настоящего

изображении солнечного спектра их имеется 2, подавляющее же большинство линий солнечного спектра происходит от поглощения газами, находящимися вне пределов земли. Кроме того эти линии почти все принадлежат веществам, которых в земной атмосфере совсем нет. Напр. спектр солнца имеет несколько тысяч линий, принадлежащих парам железа; между тем на земле железо находится в твердом виде, и для его превращения в пар нужна жара в несколько тысяч градусов; ясно, что пары железа надо искать не на земле, а где-то в другом, более жарком месте, — очевидно, на самом солнце. Вспомним, что мы в главе I говорили о строении солнца. Солнце состоит из раскаленного газообразного ядра, довольно плотного, в $1^1/_2$ раза плотнее воды, окруженного более легкой атмосферой. Газы ядра настолько плотны, и толща их так велика, что они светят, как твердое тело, т.-е. дают белый свет с непрерывным спектром; наружные слои этого ядра, которые собственно только и дают видимый нами свет, — ибо из более глубоких слоев свет до нас не доходит, — называются *фотосферой*. Фотосферу окружает атмосфера солнца, и через нее проходят солнечные лучи, прежде чем дойти до нас. Вот там-то, в солнечной атмосфере, и находятся газы и пары, являющиеся причиной появления темных линий спектра. Атмосфера солнца холоднее, чем фотосфера, чем и объясняется то, что линии темные (правило 3 на стр. 45); но там все-таки господствует достаточная жара, для того чтобы обратить в пар железо и все другие известные нам тела. Чтобы получить некоторое представление об условиях, господствующих в солнечной атмосфере, укажем, что в то время, как температура фотосферы равняется приблизительно $6^1/_2$ тысячам градусов, температура атмосферы солнца около 5 тысяч, т.-е. ниже на полторы тысячи градусов.

Итак, мы доискались причины странного вида солнечного спектра, — это пары солнечной атмосферы вызывают появление темных линий. Но в таком случае можно узнать, какие именно газы и пары там находятся: стоит только измерить положение линий и сравнить с линиями, которые дают раскаленные пары известных нам веществ; если линии совпадают, то данное вещество на солнце имеется. Итак, благодаря спектроскопу мы можем определить состав солнца. Разве это не удивительно? Обычно, для того чтобы определить, с каким веществом мы имеем дело, напр., чтобы отличить сахар от соли, мы его должны взять в руки ощупать, попробовать на вкус и т. д. До солнца же мы добраться не можем,

а издали внешний вид его ничего нам не говорит о составе. Но вот мы наводим наш чудодейственный прибор — спектроскоп, и призмы его разлагают световой луч, как хирург режет тело, обнаруживая все скрытое внутри; и световой луч раскрывает нам тогда сокровеннейшие тайны источника, пославшего его к нам. Мы узнаем, точно сами там побывали, из каких веществ построен великий светоч, сущность которого интересовала людей во все времена.

Прежде чем говорить о том, какие именно вещества найдены на солнце, мы должны сказать несколько слов о веществах, известных на земле. Мы как-то уже упоминали о том, что вещества бывают твердые, жидкие и газообразные. Это — деление по физическому состоянию; одно и то же вещество может быть в различных состояниях: лед, это — та же вода, а не какое-нибудь особое вещество, потому что его всегда можно обратить в воду, а воду — в лед. Зато воск совсем иное тело, чем вода: никаким нагреванием или охлаждением его в воду нельзя обратить; его можно сделать жидким — расплавить, но расплавленный воск обладает совсем другим свойством: он горит, легче воды и т. д. Лед и вода отличаются только по состоянию, это — одно вещество. Воск же и вода, как говорят, отличаются *по составу*. Это вещества совсем различные. Составом веществ занимается особая наука — химия; здесь мы приведем несколько истин, добытых этой наукой, которые нам нужны для понимания дальнейшего.

Большинство веществ, нас окружающих, принадлежит к веществам сложным, или составным, т. е. тем или иным способом их можно разложить на составные части. Лишь сравнительно немногие не поддаются химическому разложению, и потому их называют простыми телами, или элементами.

При очень сильном нагревании все сложные тела в конце концов разлагаются на составные части, — распадаются на составляющие их элементы. Можно с достоверностью утверждать, что при той высокой температуре, какая существует на солнце, почти все сложные тела должны разложиться, так что на солнце имеются главным образом только простые тела — элементы, а сложных тел, наверно, очень мало. Это упрощает нашу задачу определения состава солнца; дело в том, что сложных тел известно очень много — несколько сот тысяч, тогда как элементов около 90; из этих нескольких десятков простых тел составляется благодаря разным комбинациям бесчисленное множество тел сложных. Так вот, говоря о составе

солнца, нам главным образом придется иметь в виду только сравнительно небольшое количество элементов.

Посмотрим сначала, каков состав нашей земли. Самые важные элементы, встречающиеся на земле, следующие: 1) железо — по всей вероятности, все внутреннее ядро земли состоит из железа, и весьма возможно, что этого элемента на земном шаре больше всего. Такое мнение существует потому, что вес всей земли близок к тому, какой она имела бы, если бы была внутри наполнена железом, а окружена корой из разного камня (горных пород); к сожалению, непосредственно убедиться в этом мы не имеем возможности, так как глубоко внутрь земли нельзя пробраться; 2) кислород — это самая важная для нас составная часть воздуха; когда мы дышим, то он-то именно нам и нужен; наши легкие впитывают его и передают крови, где он поддерживает нашу жизнь. Без этого газа мы и несколько минут прожить не можем, наступает смерть от удушения. Он же поддерживает горение: всякий знает, что горение без воздуха происходить не может; хотя в воздухе имеются и другие составные части, но горение, как и дыхание, исключительно происходит за счет кислорода; 3) кремний — одна из главных составных частей земной коры; кремень — соединение кремния с кислородом; 4) алюминий — всем теперь известный легкий металл; главная составная часть глины; 5) водород — очень легкий и горючий газ, в соединении с кислородом дающий воду; 6) кальций — металл, главная составная часть известняка; 7) углерод — встречается в виде каменного или древесного угля; необходимая составная часть всех растений и животных. Чистый углерод, это — алмаз; 8) азот — газ, вторая составная часть воздуха; его в воздухе гораздо больше, чем кислорода, но он ни дыхания ни горения не поддерживает. Зато он является необходимой составной частью всех живых существ. Из четырех элементов — углерода, кислорода, водорода и азота — построены все животные и человек, так же как и наша пища. Перечисленные нами восемь элементов являются самыми важными, так как главным образом из них составлен земной шар и все, что на нем находится: океаны, воздух, растения, животные, человек. Другие элементы менее важны или встречаются в малом количестве; тем не менее многие из них представляют для нас значительный интерес. Вот некоторые из этих элементов: 9) натрий — главная составная часть поваренной соли; о спектре его мы уже говорили; 10) медь; 11) цинк; 12) серебро; 13) золото; 14) олово; 15) свинец; 16) ртуть.

Каким же образом определить, имеется ли какой-либо из этих элементов на солнце? Для этого надо, как мы уже говорили, сравнить положение линий солнечного спектра с линиями этих элементов. В чем здесь суть, станет ясным из примера. Пусть мы хотим узнать, имеется ли на солнце водород; для этого сравним спектры № 1 и № 5 на табл. II. В спектре водорода № 5 имеются три линии; по линейке положение их таково: первая — красная, находится на 34-м делении; вторая — зеленовато-голубая — на 89-м, а третья — синяя — на 127-м делении. Посмотрим теперь на спектр солнца (№ 1); оказывается, что против каждого из делений — 34, 89 и 127 — стоит темная линия. Ясно теперь, что положение этих трех темных линий солнечного спектра совпадает со светлыми линиями водородного спектра и, следовательно, присутствие водорода на солнце доказано. Таким же образом, сравнив спектры № 1 и 3 табл. II можно убедиться, что и натрий на солнце имеется; линия поглощения натрия в солнечном спектре отмечена буквой *D*.



Рис. 21. Спектр железа (вверху) и спектр солнца (внизу).

Обыкновенно для удобства сравнения делают так, чтобы в спектроскопе одновременно получались спектр солнца и спектр того элемента, присутствие которого на солнце хотят проверить. Пример этого показан на рис. 21; верхний спектр, это — спектр паров железа, нижний — небольшая часть спектра солнца. Мы видим, что против каждой светлой линии железа, — а их много, — имеется в солнечном спектре темная линия; это доказывает присутствие железа на солнце. Здесь, на фотографии, цветов не видно, что нам нисколько не мешает: нам нужны лишь светлые и темные линии.

На табл. II спектры изображены в очень малом размере; поэтому здесь видно очень мало линий, — изображены лишь самые крупные; на самом деле линий в солнечном спектре имеется десятки тысяч, которые получаются на снимках при помощи усовершенствованных инструментов; одних линий железа имеется несколько тысяч. Некоторое понятие об изобилии линий в солнечном спектре дает рис. 21, где представлен лишь очень маленький участок всего спектра.

В результате исследований оказалось, что большинство элементов, встречающихся на земле, имеется также и на солнце. Из перечисленных нами выше восьми главных элементов имеются, повидимому, все; не вполне выяснено присутствие лишь азота. Из других упомянутых нами простых тел недостает в солнечном спектре лишь линий золота, и сомнительно присутствие ртути. Таким образом солнце построено в общем из тех же самых веществ, что и земля. Разве не замечательно, что два тела — солнце и земля — удаленные друг от друга на 150 миллионов километров и столь различные по своим размерам и внешнему виду, на самом деле по своей внутренней сущности почти одинаковы? Они построены как бы из одинакового материала; разница лишь во внешнем виде: земля — темная, а солнце — яркое и блестящее, земля — твердая, а солнце — газообразное; это происходит от разницы в температуре: земля холодная, а солнце сильно нагрето. Если бы землю раскалить до температуры солнца, то она приобрела бы те же свойства — стала бы тогда как бы маленьким солнцем. Мы видели, что все-таки некоторых элементов спектроскоп на солнце не обнаружил; значит ли это, что этих элементов на самом деле нет? Это трудно допустить, так как есть основание думать, что и земля и солнце когда то составляли одно целое. Быть может, этих веществ на солнце очень мало, или они скрыты от нас во внутренних частях солнечного шара, так что остаются для нас невидимыми; это объяснение особенно правдоподобно для таких веществ, как золото и ртуть; они, как известно, очень тяжелы и, естественно, должны опуститься в глубину, ближе к солнечному центру, так что на поверхности нельзя обнаружить признаков их существования.

Зато если некоторые, хорошо известные на земле элементы, на солнце еще не обнаружены, то, наоборот, в солнечном спектре имеется много темных линий, которые не найдены ни у одного из известных нам химических элементов. Большинство этих линий очень слабо. Для таких линий предложены два объяснения: 1) ли-

нии эти принадлежат тоже известным нам земным элементам, но пока из-за недостаточной силы наших приборов мы этих линий у элементов на земле просто не заметили; с течением же времени, когда научные приборы будут усовершенствованы, можно надеяться, что и эти линии найдут свое объяснение. Дело в том, что каждый элемент имеет обыкновенно множество линий, и с каждым годом открывают все новые; вместе с тем многие из вновь открытых линий как раз совпадают с некоторыми из линий солнечного спектра, представлявших раньше для нас загадку. Кроме того, спектр одного и того же элемента меняется в зависимости от того, в каких условиях этот элемент находится: при высокой или низкой температуре, в сгущенном или разреженном состоянии; в одном случае могут быть линии, в другом совсем отсутствующие; таким образом, для того, чтобы с наибольшей легкостью сравнивать спектры земных элементов и солнца, надо было бы взять эти элементы в таком же состоянии, в каком они пребывают на солнце, т.-е. при такой же температуре, плотности и т. д.

Между тем это до сих пор невыполнимо, во-первых, потому, что мы слишком мало знаем, какие условия господствуют на солнце; во-вторых, пока еще не удалось в земных лабораториях создать условия, соответствующие солнечным, напр. температура поверхности солнца на несколько тысяч градусов выше самой высокой температуры, какую можно достигнуть при лабораторных исследованиях на земле [1].

2) Возможно, что некоторые из солнечных линий, представляющих для нас загадку, принадлежат веществам, еще не открытым на земле. При этом возможны два случая: или этих элементов действительно на земле нет, или они есть, но до сих пор не обнаружены. Более правдоподобным кажется второй случай. В этом отношении особенно поучительна история открытия гелия. Вспомним, что мы говорили в конце I главы о хромосфере, этом

[1] Самая высокая температура, *длительно* достигнутая в лабораториях, достигает 4 430° Ц.; при этой температуре уголь (уже жидкий) кипит под давлением в 8 атмосфер.

На короткое мгновение через воздействие сильного электрического тока на тонкие провода удалось (в 1920 г.) достигнуть даже температуры в 20 000°. Это уже значительно выше температуры поверхности солнца (6 000°), но все-таки несравненно ниже температуры внутренних частей солнца.

Однако современная теоретическая физика, проникая в тайны строения атома, уже позволяет до известной степени предусмотреть свойства вещества при самых высоких температурах, недоступных для опыта.

4*

«цветном слое» солнца; это — верхние слои солнечной атмосферы, очень разреженные, светящие слабо и потому не видные в обычное время. Но во время солнечных затмений хромосфера становится видимой на несколько секунд в виде красной каймы (табл. III). Этим коротким промежутком времени астрономы пользуются для того, чтобы исследовать ее спектр, и вот тут оказалось, что спектр этот — линейчатый и состоит из светлых линий, как спектры № 3 и 5 (табл. II), с тою лишь разницей, что здесь линий очень много; а это значит, что перед нами — самосветящийся резреженный газ (правило 2, стр. 45). По положению линий состав его было нетрудно определить. Главная составная часть хромосферы, это — водород; по крайней мере он заметнее других элементов. Это он является причиной своеобразного красного цвета, присущего хромосфере (из трех линий водорода самой заметной для глаза является красная; поэтому такого же цвета кажется нам и раскаленный водород). Кроме водорода в хромосфере встречаются кальций, алюминий, железо, натрий. Но, сверх того, в спектре хромосферы была открыта яркая желтая линия, которая не оказалась ни у одного из известных земных элеменов. Линия эта так ярка, что решили, что она принадлежит какому-то неизвестному пока элементу, ибо если бы она принадлежала известным элементам, то незамеченной она не могла бы остаться; этот неизвестный элемент поспешили окрестить «гелием», что означает — «солнечный». И что же? Прошло немного времени, и в 1895 году этот солнечный элемент был найден на земле в одной из редких горных пород, а затем и в нашем воздухе, правда, в ничтожном количестве; оказался гелий газом очень легким, при том обладающим замечательным свойством: он ни в какие соединения с другими элементами не вступает, так что сложных тел не образует, и постоянно существует отдельно, как простое тело; раньше таких веществ еще не знали, и поэтому этот солнечный элемент-нелюдимка особенно важен для науки. Открытие гелия превосходит все, о чем мы говорили раньше; там мы лишь находили на солнце те тела, которые уже были ранее известны на земле; здесь же астроном сначала увидел элемент на солнце, а потом уже химик с трудом отыскал его на нашей планете.

В спектре солнечной короны есть очень заметная зеленая линия, которая не принадлежит известным земным телам; поэтому ее приписали особому элементу — «коронию». Пока что короний еще нигде на земле не найден. Сама корона имеет спектр не ли-

нейчатый, а сплошной. По правилу 1 на стр. 45 это означает, что перед нами твердое или жидкое тело (плотным газом корона не может быть, так как на таком расстоянии плотное вещество не может держаться); сплошным телом ее никоим образом считать нельзя, — тогда она была бы непрозрачна и не пропускала бы света солнца, а между тем сквозь нее видны даже звезды. Это указывает на необычайную разреженность вещества в короне. Скорее всего надо считать, что она состоит из разрозненных, очень мелких твердых или жидких пылинок, выброшенных с поверхности солнца и носящихся недалеко в пространстве. Некоторые предполагают, что корона состоит из мелких, заряженных электричеством частиц — электронов.

Мы говорили, что во время солнечных затмений астрономы пользуются немногими секундами, в течение которых хромосфера остается непокрытой луной, для того чтобы исследовать ее спектр. Конечно, за такой короткий промежуток времени глаза не успеют ничего заметить, — поэтому спектр фотографируется. Это делается проще, чем обычно при фотографировании спектров. Вы помните, что при получении спектра (рис. 19) надо свет пустить через узкую щель, чтобы спектр был чистый и чтобы соседние оттенки цветов друг с другом не смешивались. При затмении солнца такой щели не требуется, так как именно в тот момент, когда луна покроет солнце, остается очень узкий край солнечной атмосферы в виде блестящей дуги или серпа, такой узкий, что он вполне заменяет щель. Поэтому призму ставят просто перед объективом телескопа, и тогда в фокусе, где поставлена пластинка, получается спектр. Разница против обыкновенных спектров будет та, что так как наша щель — край солнца — изогнутая, то все линии спектра получаются тоже не прямые, а в виде дуг, как изображено на рис. 22. Этот снимок получен во время затмения 1900 года.

Этот спектр называется «спектром вспышки», потому что в нем на короткое время вспыхивают яркие дуги, — линии на тех местах, где обыкновенно находятся темные линии солнечного спектра. Как известно, фотография цветов не воспроизводит; поэтому и наша фигура бесцветна; для глаза же все эти дуги окрашены в различные цвета.

При взгляде на рис. 22 сразу бросается в глаза одна особенность: дуги спектра вспышки неодинаковой длины; здесь имеется несколько крупных и множество тонких и коротких дуг. Объясняется это следующим образом: разные элементы находятся в солнечной

атмосфере на неодинаковой высоте. Пусть (табл. III) внутренний

Водород 8500
Гелий 7500
Водород 8500
Водород 8000
Кальций 14000
Кальций 14000
Водород 8000

Рис. 22. Спектр хромосферы (вспышки). Сверху дано название элемента; внизу—высота в километрах.

пунктирный круг представляет светящееся ядро солнца (фотосферу), над которым поднимаются какие-либо два газа, напр. невысокий, испускающий желтые лучи (второе пунктирное кольцо), и более высокий — красный (третий пунктир). Пусть произошло солнечное затмение: луна — большой черный круг — покрыла солнце, но оставила непокрытым с левой стороны край солнечной атмосферы, который имеет здесь как раз вид тонкой дуги, как в спектре вспышки. При этом, высокий — красный газ — дает длинную дугу, а низкий, — желтый — короткую. Итак, объяснение найдено: чем длиннее дуга в спектре вспышки (рис. 22), тем выше находится соответствующий газ, и наоборот. По длине дуги можно вычислить эту высоту. И вот рядом с нашим спектром против самых длинных дуг даны названия веществ и высоты, до которых они простираются; этих дуг или линий — 7, из них 4 принадлежат водороду, 2 — кальцию и 1 — гелию; линии водорода поднимаются на высоту 8 000—8 500 километров, гелия — на 7 500, кальция — на 14 000. Высоты эти огромны, если сравнить с земными: наша атмосфера совершенно перестает быть заметной, на 200 — 300 километров от поверхности.

Только 7 линий поднимаются выше 7 000 километров; несколько бóльшее количество их доходит

до высоты 1 000—2 000 *км*, огромное же большинство линий спектра вспышки поднимается над поверхностью солнца всего лишь на 250—500 километров. (Под «поверхностью» солнца подразумевается здесь верхняя граница фотосферы; напоминаем, что настоящей, резко ограниченной поверхности у солнца нет, так как оно целиком газообразное.) При этом оказалось, что в общем, чем тяжелее элемент, тем меньше его высота, что и понятно: тяжелое вещество вследствие самой своей тяжести должно скопляться внизу, а легкое — всплывать наверх. Итак, выходит, что состав разных частей солнечной атмосферы различный; в ней отличают два главных слоя — нижний, который называется *обращающим слоем*, поднимается над фотосферой на высоту около 700 километров; этот слой сравнительно плотный; плотность там приблизительно такая, как у земного воздуха, и содержит он пары всех тех веществ, какие обнаружены на солнце, напр. железо, медь, углерод, кальций, натрий, кремний и др. Верхний слой — о нем мы уже не раз говорили — это — *хромосфера*; состоит она главным образом из легких газов водорода и гелия и металла кальция; кроме того в нижних слоях хромосферы встречаются в небольшом количестве легкие металлы — алюминий и магний. Поднимается хромосфера примерно до 20 000 *км* над поверхностью солнца и обладает очень малой плотностью — в тысячи раз меньше плотности воздуха.

Не надо думать, что эти слои резко ограничены друг от друга. Мы знаем, что все на солнце — газ, а газы — тела очень подвижные и постоянно стремятся перемешиваться друг с другом; газы фотосферы должны поэтому постоянно смешиваться с обращающим слоем, а обращающий слой — с хромосферой, и переход от одного слоя к другому должен быть постепенный.

Также надо помнить, что спектроскоп не может дать нам вполне точного представления о составе разных слоев. Дело в том, что спектроскоп дает нам возможность видеть какое-либо вещество на солнце; но, к сожалению, по одному виду нет еще возможности определить количество вещества. Иногда бывает, что самое ничтожное количество одного вещества легко заметно для глаза, а большое количество другого незаметно или слабо заметно. Напр. воздух для нас невидим, и, хотя его очень много, мы сквозь него видим предметы на большие расстояния так, как будто ничего не находится между нами и этими предметами, тогда как самое ничтожное количество дыма сразу бросается в глаза и заволакивает предметы; между тем оно в миллионы раз меньше по весу, чем

слой воздуха, через который мы смотрим. Еще пример: толстое стекло — прозрачно и слабо заметно; тонкий же слой копоти на нем непрозрачен и резко выделяется. Оба примера относились к телам несамосветящимся.

Для самосветящихся тел степень заметности зависит от того, как много света испускается телом, или, как говорят, от его лучеиспускательной способности или светимости. Напр. лучеиспускательная способность угля велика, раскаленный уголь испускает много света и потому легко виден; пламя в печке или лампе тоже светит благодаря мелким частицам угля, поднимающимся от горящего тела (проверить присутствие этих частиц в пламени нетрудно: достаточно внести в пламя какой-нибудь холодный предмет, например лезвие ножа; тогда эти частицы осядут на него в виде копоти); воздух же обладает малой лучеиспускательной способностью, и поэтому он в печке не виден, хотя накален не в меньшей степени, чем угли.

Находящиеся на солнце вещества тоже обладают различной лучеиспускательной способностью.

По мере подъема над фотосферой плотность каждого вещества уменьшается; при этом относительное количество тяжелых веществ (как железо) убывает быстрее, чем количество легких (водород); на некоторой высоте остается так мало данного вещества, что оно становится невидимым, и спектроскоп его уже больше не обнаруживает; это и будет та высота, которая получается из измерения длины дуг в спектре вспышки; выше вещество тоже есть, но оно испускает слишком незначительное количество света.

Теперь мы можем объяснить одно явление, которое с первого взгляда кажется загадочным. Водород — самое легкое из известных нам до сих пор веществ — обнаружен в солнечной атмосфере лишь до высоты 8 500 километров, а пары металла кальция, которые в 36 раз тяжелее водорода, доходят до 14 000 километров. Дело в том, что водород обладает очень малой светимостью, так что на земле при помощи простого накаливания его еще не удалось заставить испускать свет, а пришлось применять для этого электричество.

Кальций обладает большой лучеиспускательной способностью, в особенности в разреженном состоянии, благодаря чему он еще заметен на огромной высоте в 14 000 километров, хотя его там, без сомнения, очень мало, по крайней мере во много тысяч раз меньше, чем водорода. Тем не менее водород на этой высоте уже невидим,

а пары кальция еще легко заметны. Вообще видимость водорода на такой большой высоте, как 8 500 километров, несмотря на его ничтожную лучеиспускательную способность, показывает, что его должно быть в солнечной атмосфере очень много, гораздо больше, чем всех остальных элементов; светимость других тел, напр. натрия, так велика, что если бы в нижних слоях солнечной атмосферы — в обращающем слое и фотосфере — их было приблизительно столько же, сколько и водорода, то эти вещества можно было бы видеть в хромосфере гораздо выше, чем водород, так, как это, напр., происходит с кальцием. Поэтому у нас есть достаточное основание утверждать, что области солнца, доступные нашему наблюдению, состоят главным образом из водорода; по количеству он составляет может быть 90, а может быть и 99 % всех веществ. В этой водородной атмосфере растворены, как водяной пар в воздухе, другие, более тяжелые элементы; чем глубже итти внутрь солнца, тем этих тяжелых элементов становится больше; особенно много, повидимому, железа. Возможно, что в своих внутренних частях солнце, подобно земле, состоит из железа; легкий же водород, подобно маслу в воде, всплыл на поверхность и занимает все то, что доступно нашему взору.

Впрочем, о составе внутренних частей солнца мы даже и гадать не смеем: там внутри должна быть такая высокая температура, что от нее те элементы, которые нам известны, могут превратиться во что-нибудь другое, нам неизвестное, и возможно, что там нет ни железа, ни водорода, а какие-нибудь совершенно иные вещества.

Тем не менее в настоящее время на основании теоретических соображений возможно составить себе некоторое представление о состоянии вещества во внутренних частях солнца. Атомы, или мельчайшие частицы материи, состоят, как теперь установлено, из более массивного центрального ядра, заряженного положительным электричеством, вокруг которого обращается по отдельным орбитам рой менее массивных частиц, электронов, носящих отрицательный электрический заряд. Эти частицы удерживаются притяжением положительного ядра. Число электронов, удерживаемых в одном атоме, всегда одно и то же для данного вещества, и число это тем больше, чем дальше стоит элемент в «периодической системе элементов»; так, атом водорода удерживает лишь 1 электрон, атом гелия — 2, лития — 3, углерода — 6, кислорода — 8, кальция — 20, железа — 26 электронов; наибольшее число — 92 электрона — имеет атом урана. От действия разных причин, между прочим, с повы-

шением температуры, один или несколько электронов могут отрываться от атома и двигаться независимо; это явление называется «ионизацией». Вычисления показывают, что при температурах в несколько миллионов градусов, господствующих внутри солнца, известные нам элементы должны потерять большинство — почти все свои электроны; таким образом вещество внутри солнца представляет собой смесь ядер разных элементов со свободными электронами, беспорядочно движущимися с большой скоростью во всех направлениях. Такой ионизированный газ обладает одним замечательным свойством: из какого бы первоначального вещества (исключая водорода) он ни происходил, его плотность будет довольно постоянна и колебаться между двойной и тройной плотностью водорода.

Спектроскоп может определять только степень видимости, но не количество вещества. Это является причиной еще другого интересного явления. Как нам уже известно, каждый элемент имеет в спектре много линий — иногда десятки, иногда сотни, а железо — даже тысячи. Эти линии неодинаково заметны. Обыкновенно для каждого элемента существует несколько очень заметных главных линий и множество мелких; когда вещества имеется мало, то видны лишь главные линии, а чем больше количество и плотность вещества, тем больше второстепенных линий делаются заметными. Так вот, в спектре вспышки разные линии одного и того же элемента показывают разную высоту. Главные линии поднимаются выше всего, второстепенные же видны лишь в более низких слоях, где вещества уже достаточное количество, для того чтобы сделать их заметными. Таким образом каждой линии спектра вспышки соответствует своя определенная высота, на которой лучи этой линии зарождаются, и вместо того, чтобы говорить о высоте элемента над солнечной поверхностью, приходится говорить *о высоте линий спектра*; это будет гораздо точнее, тогда как «высота элемента», как мы видели, есть понятие неопределенное: количество вещества уменьшается с высотой *постепенно*, и нельзя указать точной границы, выше которой его уже нет: оно будет существовать, может быть, в самом ничтожном количестве, так что его не видно, но все-таки существовать.

Для примера можно привести следующие числа: водород дал на фотографиях спектра вспышки всего 34 линии; из них лишь 5 имеют высоту более 8 000 *км*, 7 — от 4 000 до 8 000, 14 — от 1 000 до 4 000 и 8 — меньше тысячи километров. Такое разнообразие, ко-

нечно, не может означать, что есть несколько водородов, поднимающихся на разную высоту. Водород — один и тот же, только светимость разных его линий (или цветов) неодинакова. Если взять среднюю высоту для всех 34 линий водорода, т› получается 3 200 километров. Мы раньше видели, что более тяжелые пары кальция поднимаются на огромную высоту в 14 000 километров; это относится лишь к двум фиолетовым, самым крупным линиям кальция. Линии эти на табл. II, № 1 видны на самом конце фиолетовой части спектра. Из остальных же 33 линий одна дает высоту 5 000, две — 1 500, а все остальные меньше тысячи, так что средняя высота *всех линий* кальция составляет 1 460 километров, т.-е. более чем в два раза меньше средней высоты линий водорода. «Солнечный элемент» — гелий, который в четыре раза тяжелее водорода, но в 9 раз легче кальция, имеет среднюю высоту 2 850 километров, — число, лежащее между высотою кальция и водорода. Таким образом, если брать среднюю высоту для всех линий какого-либо элемента, а не ограничиваться только более заметными линиями, то высота получается в соответствии с плотностью: легкие вещества поднимаются выше, тяжелые располагаются пониже.

Недавно индийский физик Саха, пользуясь теорией Бора о строении атома и законом распадения (диссоциации) немецкого ученого Нернста, развил теорию, объясняющую причину различной светимости элементов или линий одного и того же элемента при разных условиях температуры и давления (плотности). Свечение какого-либо элемента зависит от перемещения электронов относительно ядра (см. выше): когда электрон подскакивает ближе к ядру, происходит свечение, когда он отскакивает от ядра — поглощение света. Цвет (длина волны) испускаемого света зависит от устройства атома, т.-е. от массы его ядра и числа спутников — электронов, а также от интервала, на который происходит перескакивание. В силу необъясненного до сих пор закона электронам предоставлена возможность обращаться только по некоторым определенным образом расположенным орбитам (путям), круговым или эллиптическим (вытянутым); орбиты, расположенные между этими избранными орбитами, являются для электрона как бы «недозволенными»: электрон внезапно перескакивает с одной орбиты на другую, при чем и происходит свечение (или поглощение). Каждой паре орбит в данном атоме соответствует одна линия спектра, и из сочетания разных орбит можно получить все линии (серию или серии линий) данного элемента.

Влияние плотности сказывается прежде всего в том, что в плотном газе — при более тесном расположении атомов — отдельные атомы соприкасаются своими внешними орбитами; на орбиты более далекие, чем те, которыми атомы соприкасаются, электрон перескакивать уже не сможет, а потому линии, соответствующие этим далеким орбитам, перестают быть видимыми.

Изменения плотности, а также температуры, могут, однако, еще в большей степени влиять на вид спектра через *ионизацию*; выше было упомянуто, что атом может потерять один или более из своих электронов, — явление, называемое ионизацией; ионизация усиливается как с повышением температуры, так и с понижением давления (значит и плотности). Ионизированный атом обладает уже иными свойствами, чем атом неионизированный, или нейтральный, и дает иную серию спектральных линий.

Заслуга Саха состоит в том, что он нашел способ вычислять степень ионизации каждого элемента при каких угодно условиях температуры и давления. В результате оказалось возможным объяснить главные особенности солнечного спектра (равно как и спектра звезд). Например, выше мы отметили, что две фиолетовые линии, так называемые линии H и K, сравнительно тяжелого газа кальция, поднимаются над солнечной поверхностью на большую высоту, чем линии самого легкого из элементов — водорода. Причина этого следующая. Линии H и K принадлежат однократно ионизированному кальцию, т.-е. кальцию, потерявшему из общего числа своих 20 электронов один электрон; потеря первого электрона, как показал Саха, происходит у кальция сравнительно легко, при относительно низких температурах; при температуре в 5 000° и давлениях от $\frac{1}{10\,000}$ до $\frac{1}{1\,000\,000}$ атмосферы, господствующих в верхней хромосфере, почти все атомы кальция ионизированы, вследствие чего там так заметны вышеупомянутые линии H и K; остальные линии кальция, соответствующие нейтральному атому, по той же причине перестают быть видимыми на этой высоте; линии нейтрального кальция появляются лишь в нижних, более плотных слоях, где возросшее давление препятствует полной ионизации, тогда как температура лишь незначительно выше.

Вообще в верхних слоях хромосферы благодаря незначительному давлению, почти все атомы элементов ионизированы. Это обстоятельство объясняет невидимость водорода на высоте, где кальций еще виден. Водород, обладая лишь одним электроном, лишается

способности светить в ионизированном состоянии; водородные линии простираются лишь до такой высоты, на которой еще известная доля атомов остается неионизированной; обстоятельство, что, несмотря на это, линии водорода простираются в атмосфере солнца все-таки на значительную высоту, объясняется отчасти тем, что водород трудно поддается ионизации — он требует для полной ионизации гораздо более высоких температур, чем кальций, отчасти же — вышеупомянутым предполагаемым обилием водорода в солнечной атмосфере.

Теория Саха объясняет особенности линий разных элементов настолько хорошо, что по этой теории и на основании вида линий в солнечном спектре, спектре вспышки и т. п. можно делать заключения о распределении плотности и температуры в разных слоях солнечной атмосферы. Следует отметить, что во внешних слоях солнца, благодаря своей прозрачности доступных наблюдению, температура изменяется в сравнительно тесных пределах — примерно от 4 000° до 7 000°, тогда как давление меняется в миллионы раз; поэтому на особенности спектральных линий солнца влияет в наибольшей степени давление; благодаря этому же глубокие слои, прилегающие к фотосфере, отличаются наименьшей степенью ионизации. Вычисления показывают, однако, что по мере проникновения в более глубокие, недоступные непосредственному наблюдению области солнца температура должна расти в такой мере, что повышение давления уже не сможет препятствовать ионизации, и близ центра солнца ионизация приближается к предельной (см. выше).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СЛОЕВ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

В предыдущей главе мы узнали, что в солнечном спектре имеется ряд темных линий, и видели, как по положению этих линий удалось определить состав солнечной атмосферы. Теперь мы подробнее остановимся на темных линиях солнечного спектра. Линии эти вовсе не так темны, как можно было бы заключить по названию: в них тоже есть свет, хотя слабый, но этот слабый свет, оказывается, может нам сообщить о строении солнца гораздо больше, чем весь остальной яркий свет. Чтобы это понять, рассмотрим ближе происхождение темных линий.

Большая часть обыкновенного солнечного света исходит от слоя, называемого фотосферой. Слой этот сравнительно небольшой толщины — всего, может быть, в несколько десятков километров — состоит из газов, достаточно плотных для того, чтобы давать *белый* свет и *непрерывный* спектр. Этот свет фотосферы, прежде чем дойти до нас, проходит через солнечную атмосферу, газы которой поглощают лучи определенного цвета, образуя темные линии спектра; но эти газы сами раскалены и светят, при чем свет их как раз такого цвета, какой они поглотили, так что на место исчезнувшего света фотосферы становится свет соответствующего газа. Каждая темная линия представляет, таким образом, свет какого-либо вещества, находящегося в парообразном состоянии в солнечной атмосфере, тогда как «чистые» места спектра, это — свет от самой фотосферы. Почему же все таки линии кажутся темными, раз в них есть свет? Да потому, что свет-то есть, да его меньше, чем света от фотосферы, и поэтому линии только кажутся темными в сравнении с более ярким светом. Если более яркий свет удалить, то линии сами также покажутся светлыми; это и происходит во время солнечных затмений, когда луна задерживает мешающий нам яркий свет, и тогда близ солнечного края становятся видными для

глаза отдельно газы обращающего слоя и хромосферы, дающие уже *светлые* линии в спектре вспышки. Эти светлые линии — как раз те самые лучи, которые находятся в темных линиях солнечного спектра. Тут все дело в противоположности, или контрасте. Глаз наш может лишь сравнивать разные явления, а на действительную оценку их силы он не способен. Как на пример, можно указать на рис. 23: здесь два кружочка, совершенно одинаковых, но один из них кажется темным, потому что находится на белом фоне, другой же, посреди черного квадратика, кажется по сравнению с ним светлым.



Рис. 23. Явление контраста.

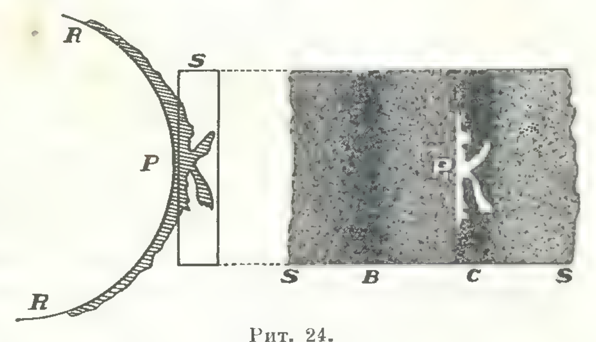
Итак, в темных линиях поглощения солнечного спектра перед нами свет паров какого-либо одного элемента; является мысль: нельзя ли воспользоваться этим светом, чтобы посмотреть, как расположены пары этого элемента на солнце. В первый раз это было сделано 50 лет тому назад. Вы помните, что во время солнечных затмений можно наблюдать протуберанцы — извержения на солнце. Обычно, вне затмений, протуберанцев в телескоп нельзя видеть, потому что свет их слишком слаб и покрывается ярким

светом неба рядом с солнцем (свет неба, это — солнечный свет, отраженный нашим воздухом). Поднимаются протуберанцы из хромосферы и, как показал спектроскоп, состоят из тех же самых газов, что и она: главная составная часть — водород, затем гелий и кальций; иногда встречаются и другие элементы, как, напр., пары железа. Газы эти очень разрежены, потому что находятся высоко над солнечной поверхностью; спектр их линейчатый — он состоит в общем из таких же светлых линий, как и спектр вспышки. Сначала исследования спектра протуберанцев произведены были во время солнечного затмения. Когда же обнаружилось, что линии этого спектра очень ярки, то явилась мысль: нельзя ли их увидеть и вне затмения. Дело в том, что хотя вообще газы протуберанца испускают мало света, но зато этот свет собран в немногих отдельных линиях, и этого небольшого количества света достаточно, чтобы сделать небольшую по ширине линию заметной для глаза. Напр. водород испускает очень заметные для глаза красные лучи одного определенного оттенка; предположим для простоты, что весь свет протуберанца состоит только из этих красных лучей; свет же неба рядом с солнцем дает лучи всех цветов и оттенков. Пусть этих оттенков будет, скажем, 1 000, и пусть яркость протуберанца составляет одну сотую яркости неба [1]; когда мы смотрим простым глазом или в телескоп, то все разнообразные оттенки сливаются и дают однообразный голубовато-белый свет. А так как свет неба в 100 раз сильнее света водородного протуберанца, то он совершенно заглушает этот последний. Но вот мы берем спектроскоп, который разлагает белый свет на «цвета радуги» и располагает все эти бесчисленные оттенки в определенном порядке — красные рядом с красными, синие с синими и т. д. Свет протуберанца остается таким, каким был: он состоит лишь из одного оттенка — красного, его не на что больше разлагать: он дает одну красную линию; но рядом с ним будет уже находиться лишь красный свет неба, остальные цвета уйдут в другие места спектра; в ближайшем соседстве с линией водорода будут находиться лишь два оттенка спектра неба, тоже красных, один потемнее, другой посветлее, и только эти два оттенка и будут нам теперь мешать видеть свет протуберанца вместо прежней тысячи оттенков; таким

[1] На самом деле в белом свете, конечно, не тысяча, а бесконечное множество разных оттенков, которые постепенно переходят один в другой. Определенное же число здесь взято лишь для простоты рассуждений в нашем примере; можно было бы, конечно, взять и любое другое число.

образом посторонний свет уменьшился в 500 раз, а свет протуберанца остался таким же; он был в сто раз слабее, чем все 1 000 оттенков, теперь же в спектроскопе он будет в пять раз ярче, чем оставшиеся два оттенка, и мы увидим на более темном спектре неба светлую красную линию водорода.

Исходя из таких соображений, англичанин Локьер и француз Жансен почти одновременно (в 1868 году) навели спектроскоп на солнечный край, где можно было ожидать протуберанцев, и действительно увидели светлые линии,— сперва водорода, потом другие; между прочим, тогда была открыта линия неизвестного в то время на земле элемента гелия, о котором мы раньше говорили. Мало того, не только можно было наблюдать светлые линии и определить таким образом состав протуберанцев, удалось также рассмотреть их форму (внешний вид). Вспомним, что спектроскоп имеет щель (рис. 19), через которую пропускается свет; при наблюдениях протуберанцев эта щель наводится на край изображения солнца, получаемого в телескопе, и тогда все, что помещается внутри щели, повторяется в линиях получаемого спектра; если щель достаточно широка, то протуберанец целиком может поместиться в ней, и тогда на месте темной линии спектра получится картина, изображенная на рис. 24. Это протуберанец, рассматриваемый в свете, испускаемом одной красной полосой водорода, обычно обозначаемой буквой C; хотя в нем, без сомнения, имеются и другие элементы, но благодаря спектроскопу свет их удален, и перед нами одни только лучи водорода: мы видим только водород этого протуберанца; если бы мы выбрали какую-либо другую линию спектра, мы могли бы посмотреть, какой вид имеет хотя бы кальций или гелий, составляющие протуберанец. Итак, спектроскоп дает нам сразу две выгоды: он показывает нам предметы, невидимые для глаза даже в телескоп, и, сверх того, дает нам возможность рассматривать отдельно те вещества, из которых эти предметы состоят, так, как будто бы все остальные вещества были удалены. Тут имеется одно лишь неудобство: приходится на все смотреть сквозь



Рит. 24.

узкую щель спектроскопа, и сразу можно видеть немного; для рассмотрения большого предмета приходится щель передвигать, и тогда глазу по очереди видны отдельные части его. Передвигая щель кругом всего солнечного края, можно увидеть и зарисовать все протуберанцы, и многие обсерватории одной из главных своих задач сделали ежедневную регистрацию протуберанцев.



Рис. 25.

С тех пор знания наши об этих замечательных явлениях сильно обогатились. Раньше протуберанцы видны были лишь во время солнечных затмений, и проследить, что с ними происходит, как они образуются и как изменяются не было возможности; теперь же благодаря непрерывности наблюдений стало возможным следить за происходящими в протуберанцах изменениями. И тогда выяснилось, что протуберанцы подразделяются на два различных рода. Во-первых, протуберанцы бурные, которые собственно являются извержениями; во-вторых, *спокойные* протуберанцы. Первые подвержены очень быстрым изменениям; рис. 25 и рис. 26 показывают пример такого изменения. Первое изображение представляет начало извержения, наблюдавшееся 7 сентября 1871 г. Юнгом, второе — вид протуберанца спустя всего лишь полчаса, когда могучий взрыв взметнул огненные брызги, каждая из которых по величине может сравниться с землею, на высоту 350 000 километров. Чтобы в 30 минут пройти такое расстояние, которое в 9 раз больше обхвата земли, необходима была скорость движения по крайней мере в 200 километров в секунду, а вначале она должна была быть еще больше, километров 400—500, т.-е. почти в тысячу раз больше скорости артиллерийского снаряда. Такие громадные скорости наблюдались при солнечных извержениях неоднократно, хотя чаще встречаются скорости более умеренные, но все-таки большие сравнительно с земными,— (примерно, несколько десятков километров в одну секунду). Происхождение таких огромных скоростей до сих пор представляет загадку: на земле нет такой силы, которая

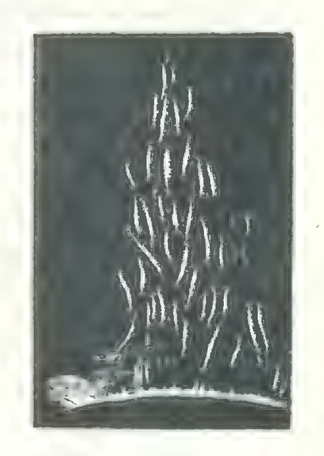


Рис. 26.

могла бы сделать что-нибудь подобное; даже самые сильные взрывчатые вещества не могут сообщить телу и одной сотой доли этой скорости. Главная составная часть бурных протуберанцев — водород, но, кроме него, встречаются и тяжелые элементы нижних слоев хромосферы, как железо, натрий и другие металлы; очевидно, они выброшены снизу на большую высоту силой взрыва. Поэтому бурные протуберанцы иногда называются еще *металлическими* в отличие от спокойных или водородных, в которых спектроскоп обнаруживает, кроме водорода, лишь газы верхних частей хромосферы: гелий и кальций.

Самое название «спокойных» протуберанцев показывает их главную особенность: они подолгу, иногда по целым неделям, остаются над одним и тем же местом солнечной поверхности, сохраняя в общем свой вид и не обнаруживая особенно заметных движений; по виду они напоминают земные облака или столбы дыма (рис. 27); высота их тоже бывает очень велика — иногда 100—200 000 километров, но в общем уступает высоте, до которой долетают частицы бурных извержений.



Рис. 27.

Интересно развитие некоторых из спокойных протуберанцев. На известной высоте над солнечной поверхностью внезапно показывается светлое облачко, сначала быстро разрастающееся, оставаясь все время на месте; потом из этого облака показываются отростки, которые в виде столбов протягиваются вниз к поверхности. Объяснение описанных явлений затруднительно; по виду и особенностям эти образования сильно напоминают земные облака; однако трудно считать их чем-то вроде облаков, так как плавают они на такой огромной высоте, что там в высшей степени разреженные газы едва ли смогли бы быть им такой же поддержкой, какой является воздух для наших облаков. Скорее всего, это — нечто подобное нашим северным сияниям; причина этих последних — электрическое свечение газов верхних, чрезвычайно разреженных слоев земной атмосферы. Возможно, что и на солнце электрические явления заставляют иногда светиться разреженные газы, находящиеся выше хромосферы. В главе I мы говорили, что хотя, например, водород виден на солнце лишь до высоты $8\frac{1}{2}$ тысяч километров, но он, несомненно, имеется и выше, только

незаметен для глаза из-за малой его светимости и сильной разреженности. Так вот, некоторые электрические явления обладают свойством делать светящимся и видимым невидимый до того газ. По всей вероятности, водород, гелий и кальций, которые содержит какой-либо вновь образовавшийся спокойный протуберанец, были и раньше там, с места не сдвигались и стали лишь видимыми под действием электричества, а, может быть, и какой-либо другой причины.

Между обоими видами протуберанцев есть еще одно существенное различие: спокойные протуберанцы встречаются одинаково во всех местах солнца; извержения же близ полюсов отсутствуют, а встречаются только в средних и экваториальныых областях; как известно, пятна обладают такою же особенностью; кроме того извержения часто встречаются именно по соседству от пятен; таким образом, оба явления — солнечные пятна и извержения, — повидимому, связаны между собою, но каким именно образом, — пока остается неизвестным.

После открытия возможности наблюдать протуберанцы помимо затмений явилась мысль: нельзя ли таким же способом наблюдать и само солнце? Ведь в темных линиях солнечного спектра имеется свет от соответствующего элемента, например, водорода, и, если воспользоваться светом водородной линии, можно увидеть один только водород на солнце или же один только кальций и т. д.; но этот свет исходит из атмосферы в отличие от обычного солнечного света, приходящего из более глубокой фотосферы — «поверхности», и, следовательно, отдельно возможно рассматривать только солнечную атмосферу, без поверхности. Возможность таких наблюдений была очень заманчива, однако здесь представлялись некоторые затруднения. Во-первых, посторонний — солнечный — свет слишком силен и заглушает слабый сравнительно свет самой линии (при наблюдении протуберанцев дело в этом отношении обстоит значительно лучше, потому что они находятся за солнечным краем, и посторонний свет гораздо слабее: это не прямой солнечный, а лишь отраженный от нашего воздуха). Но от этого неудобства избавиться легко: достаточно взять темную пластинку и в ней щель; пластинкой закрывается лишний спектр, а сквозь щель рассматривается нужная нам линия. Таким образом здесь уже имеются две щели: первая ставится прямо на изображение солнца, а вторая — на линию получающегося спектра. Теперь является второе затруднение: первая щель должна быть очень узка — гораздо уже, чем при на-

блюдениях протуберанцев, так что через нее видна лишь очень малая часть солнца; при наблюдениях протуберанцев, это — полбеды, так как они сравнительно невелики, и щель для их наблюдения можно брать широкую, так что, немного подвигая ее взад и вперед, можно рассмотреть весь протуберанец; при наблюдениях же солнца сама щель должна быть узкой, иначе в темную линию попадет свет от соседних частей спектра, а если передвигать щель,

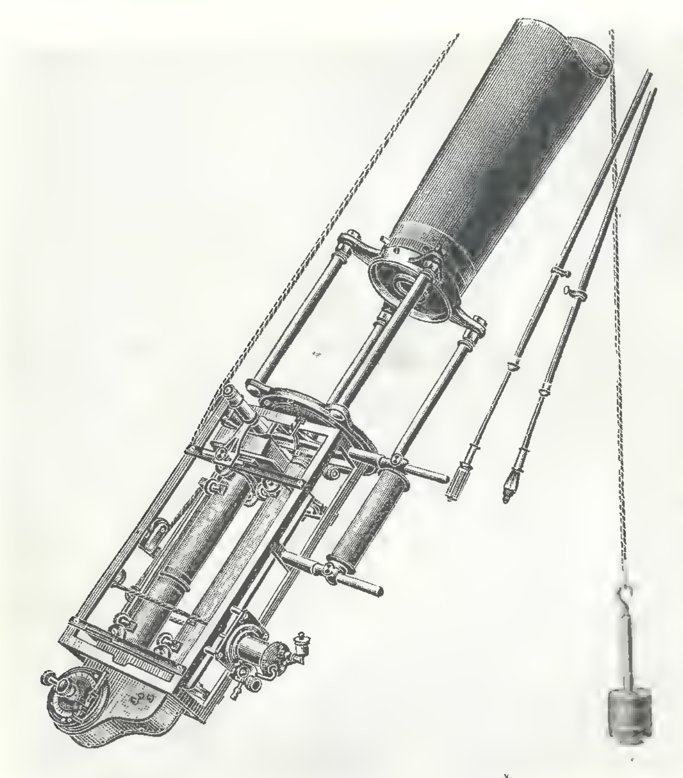


Рис. 28. Спектрогелиограф.

то из-за больших размеров солнца, пока рассмотришь одну часть, позабудешь, что было в другой. Таким образом наблюдения на глаз здесь не годятся, и необходимо пользоваться фотографией; первая щель передвигается по солнечному диску, так что перед ней поочередно проходит картина всего солнца; для каждого положения первой щели во второй получается картина той части солнца, на которую наставлена первая щель; этот вид во второй щели снимается на фотографической пластинке, при чем получается

одна полоска; пластинка все время передвигается одновременно с движением первой щели по солнцу, так, чтобы отдельные полоски легли рядом, и тогда из их совокупности составляется цельная фотография той части солнца, по которой продвинулась первая щель. Движение первой щели по диску солнца и движение фотографической пластинки у второй щели согласованы при помощи часового механизма. Весь этот сложный прибор, состоящий 1) из



Рис. 29. Спектрогелиограмма солнца в лучах среднего слоя кальция.

телескопа, 2) спектроскопа с двумя щелями и 3) подвижной фотографической пластинки, получил название *спектрогелиографа*; он был придуман и построен в 1892 году американцем Хэлем, а усовершенствован французским астрономом Деляндром. На рис. 28 представлен внешний вид спектрогелиографа.

Теперь посмотрим, что нового прибавил к науке о солнце этот прибор. Рис. 29 — снимок солнца, сделанный Хэлем в лучах

паров кальция. Для этого вторая щель спектрогелиографа была направлена на одну из тех двух самых крупных линий кальция, которые в спектре вспышки обнаружили самую большую высоту над поверхностью солнца — именно 14 000 километров. Для сравнения на рис. 30 представлена обыкновенная фотография солнца почти в то же время, сделанная в белых лучах; такой вид имело в этот день (25 августа 1906 года) солнце в телескоп. Рис. 30 дает кар-



Рис. 30. Обыкновенная фотография солнца (фотосфера).

тину поверхности солнца (фотосферы), рис. 29 — вид одних только паров кальция на солнце, как будто мы каким-то чудесным образом удалили все остальные вещества и оставили один только кальций. При взгляде на обе фотографии разница получается огромная, так что сначала можно подумать, что перед нами совсем другое тело. На втором снимке нельзя отличить на поверхности ничего, кроме нескольких пятен; на первом же пары кальция покрывают

всю поверхность сложной сетью светлых и темных мест, получивших название *хлопьев*, — они напоминают редкие хлопья снега или пушинки, осевшие на гладкой поверхности; два крупных пятна имеются и на кальциевом снимке, но они здесь значительно меньше и окружены большими и светлыми областями — факелами[1]; ряд же мелких пятнышек, находящихся недалеко от верхнего большого пятна, совершенно закрыт ярким факелом; в общем разнообразие сравнительно с обычным видом поверхности — необычайное. Правда, в гл. I мы встречаем нечто похожее на эти хлопья, это — зернышки фотосферы (рис. 15 — грануляция). Однако разница между хлопьями и гранулами — в величине: хлопья — гораздо крупнее, чем гранулы, примерно раз в 30; первые достигают поперечника в несколько десятков тысяч километров, гранулы же имеют величину от нескольких сот до 2—3 тысяч километров. Если же на рис. 15 поверхность солнца кажется не менее пестрой, чем на рис. 29, то это потому, что первый снимок очень сильно увеличен, благодаря чему видны очень маленькие пятнышки; при малом же увеличении глаз этих пятнышек в отдельности различить не может, они все сливаются вместе, и поверхность кажется ровной, как на снимке рис. 30.

Каким же образом объяснить эту разницу между обоими снимками — обыкновенным и кальциевым? Во-первых, вспомним то, чему нас научили наблюдения во время солнечных затмений: пары кальция поднимаются на много тысяч километров над солнечной поверхностью. Таким образом то, что мы видим на рис. 29, есть слой солнечной атмосферы, плавающий на большой высоте над тем, что видно на обыкновенном снимке (рис. 30); мы здесь видим отдельно не только одно вещество из числа многих, находящихся на солнце, — именно кальций, мы видим также отдельно целый слой, как будто те слои, которые находятся выше или ниже, каким-то таинственным способом удалены. Итак, рис. 29 есть изображение паров кальция в слое на тысячи километров над поверхностью. Хлопья и факелы, которые видны на нашем снимке, принадлежат этому высокому слою.

При поверхностном рассмотрении может показаться, что эти хлопья — как бы облака кальция, что в них собрано много паров кальция, а где темные места — там кальция мало. Но такое представление совершенно неверно. Все вещества, также и кальций,

---

[1] Здесь факелы иные, чем те, которые видны при обыкновенных наблюдениях.

существуют на солнце в парообразном состоянии; пары эти находятся постоянно в движении и перемешиваются между собою, и благодаря этому в каждом месте солнца в слое одинаковой высоты находится в общем одинаковое количество какого-либо вещества, а следовательно, и кальция; поэтому и в хлопьях и в более темных промежутках количество кальция одинаково, разница лишь в *светимости;* в хлопьях какая-то причина заставляет пары кальция сильнее испускать свет; какая же эта причина? Вспомним, почему само солнце обладает способностью светить: потому что оно раскалено, потому что его температура очень высока. Та же причина заставляет, очевидно, светить и все, что находится на солнце. И раз нам какое-либо место на солнце кажется ярче, то это значит, что оно сильнее нагрето, и наоборот. Разница в яркости различных мест, видимых на солнце, означает, таким образом, прежде всего разницу в *температуре;* и световой луч, кроме всего прочего, служит для нас еще термометром, при помощи которого измеряется степень нагретости такого далекого тела, как солнце. Солнечные пятна темнее остальной поверхности; это потому, что они холоднее: их температура приблизительно на 3 тысячи градусов ниже, чем средняя температура фотосферы. Хлопья же и факелы солнечной атмосферы — места более горячие; их температура на несколько сот, а, может быть, иногда и на тысячу градусов выше, чем температура остальных мест, находящихся на одинаковой с ними высоте.

Когда мы говорили об определении высоты различных газов по наблюдениям спектра вспышки, мы упомянули, что каждая линия солнечного спектра соответствует определенной высоте — определенному слою солнечной атмосферы; раз так, то, пользуясь различными линиями спектра, можно при помощи спектрогелиографа получить картину различных слоев.

Пять последовательных снимков (рис. 29—рис. 32), сделанных почти в одно и то же время Хэлем, дают понятие о том, как отличаются по своему виду разные слои солнечной атмосферы. О рис. 29 и 30 мы уже говорили; снимки же рис. 31 и 32 сделаны: первый — в лучах фиолетовой линии водорода, второй — в лучах одной из линий железа; водородная линия показала в спектре вспышки высоту 8 000 километров, находясь, таким образом, ниже кальциевых паров, но все же очень высоко; железная — 1 000 километров; таким образом «железный» снимок рис. 32 представляет слой, наиболее близкий к поверхности; и действительно, здесь разница между этим слоем и снимком поверхности (рис. 30)

дились не так значительно; пятна — большие и маленькие — имеют совершенно такой же вид, как и на поверхности, тогда как в высоком слое кальция маленькие пятна совсем, а крупные наполовину закрыты раскаленными газами факелов; факелы вокруг пятен есть, но они уже не большие сплошные, как в верхнем слое, а слабые и состоят из тонких отростков; остался от них как бы один



Рис. 31. Спектрогелиограмма солнца в лучах среднего слоя водорода.

только остов. Крупных хлопьев тоже не видно, зато множество мелких (они плохо видны на снимке), которые по величине составляют как бы нечто среднее между зернышками поверхности и крупными хлопьями высоких слоев кальция. В общем вид гораздо менее разнообразный, чем на кальциевом снимке.

Снимок в лучах водорода (рис. 31) изображает слой солнечной атмосферы, находящийся между слоями кальция и железа. Пятна видны хорошо, но все-таки немного хуже, чем на железном снимке,

Вообще оказывается, что, чем выше слой, тем хуже заметны в нем пятна; в высоких слоях. как на снимке кальция, их иногда совсем не видно. Но что особенно замечательно на водородном снимке, это — вид хлопьев и факелов; вы их сначала напрасно будете искать на этом снимке. Вам покажется, что здесь вид поверхности совершенно непохож на то, что видно в лучах кальция; здесь много крупных светлых пятен, окруженных тонкими темными линиями;



Рис. 32. Спектрогелиограмма солнца в лучах железа (слой близкий к поверхности).

там же, на кальциевом снимке, светлые хлопья, тонкие и узкие, окружают более крупные темные места. Ключ к сравнению, однако, дают нам факелы Посмотрите на большое пятно, находящееся в верхней части диска; на кальциевом снимке (рис, 29) вокруг него виден большой яркий факел; на водородном же снимке вместо этого факела имеется темное место, форма которого почти в точности совпадает с формой яркого кальциевого факела; если вни-

мательно сравнить оба снимка, то вы увидите. что даже мелкие отростки одинаковы, разница лишь в том, что в одном случае они светлые, в другом — темные; таким же образом все остальные светлые факелы кальциевого снимка на водородном снимке — темные. Оказывается, что и с хлопьями происходит то же самое: они все видны наоборот — темные кажутся светлыми, а светлые — темными; на тех местах, где были светлые хлопья кальция, получаются темные извилистые линии на водородном снимке, а вместо темных кругловатых пятен — светлые водородные пятна, о которых мы только что говорили. Итак, в снимке водорода получается в общем все то, что и на кальциевом снимке (правда, с некоторыми изменениями), только наоборот — как при фотографировании на пластинке (негативе). Как же объяснить это странное явление? Дело это не легкое, но некоторое понятие о его причинах можно дать. Как мы уже говорили, яркость различных мест показывает степень их нагретости — температуру; слой водорода более низкий, чем слой кальция; и вот, то явление, о котором мы говорили,— обратный вид снимков кальция и водорода,— указывает и на соответствующее противоположное распределение температуры; в тех местах, где в верхнем слое теплее (факелы, хлопья кальция), в нижнем холоднее, и наоборот. О причинах этого можно лишь гадать; можно указать на примеры таких же явлений у нас на земле. Изучением тех изменений, которые происходят в земной атмосфере, занимается особая наука — метеорология, наука о погоде. Так вот, эта наука обнаружила, что и у нас, в нашей атмосфере, бывает совершенно такое же явление: когда внизу холодно, то выше — тепло, и наоборот; у нас в СССР зимою очень часто встречается два вида погоды: 1) сильный мороз при ясной и тихой погоде; оказывается, что холод тогда силен лишь близ земной поверхности, а в высоких слоях воздуха бывает сравнительно тепло; при этом наблюдается нисходящее течение воздуха, т.-е. воздух постепенно опускается вниз, к земле, а затем уже растекается во все стороны (это так называемый антициклон); 2) оттепель, облачная и ветреная погода, у земной поверхности тепло, в верхних же слоях атмосферы сравнительно холодно; наблюдается восходящее течение воздуха, стекающего со всех сторон к одному месту (это — циклон). Здесь основной причиной разницы в погоде и в сравнительной температуре верхних и нижних слоев является именно направление течения воздуха — вверх или вниз. Возможно, что и на солнце происходит нечто похожее. В факелах и ярких хлопьях кальция

газы солнечной атмосферы текут вниз, и, как в первом случае земной погоды, описанном нами выше, в нижнем слое, соответствующем водородному снимку, холодно; поэтому факелы и хлопья здесь кажутся темными; в остальных же местах солнечной поверхности, как во втором примере погоды: газы устремляются вверх, внизу тепло, наверху — в слое кальция — холодно; поэтому эти места (круглые пятна между хлопьями) в нижнем слое (водородный снимок) кажутся светлыми, в верхнем же, кальциевом слое,— темными; такое предположение подтверждается исследованием движений в солнечной атмосфере,— об этом будет речь в следующей главе; оказалось, что над факелами действительно наблюдается опускание газов вниз. иногда со значительной скоростью — до 3 километров в секунду, так что приведенное выше объяснение и сравнение с явлениями земной погоды представляется довольно вероятным.

Итак, исследуя при помощи спектрогелиографа различные линии солнечного спектра, мы имели возможность получить картину различных слоев солнечной атмосферы и, мало того, получаем даже понятие о распределении температуры; мы как бы наблюдаем погоду на солнце, хотя наше земное понятие о погоде, конечно, мало соответствует тому, что происходит на солнце, где «холодно» значит 3 000 градусов, а жарко — 7 000. Оказывается, что даже одна единственная линия солнечного спектра может нам много рассказать про строение этих различных слоев. Свойство, благодаря которому это возможно, состоит в следующем. Вы помните, что газы в разреженном состоянии имеют спектр линейчатый: чем реже газ и чем меньше его количество, тем уже линии его спектра. Если же уплотнять газ или брать его в большем количестве, то линии становятся шире. На солнце газы имеют самую различную плотность; в верхних слоях они очень разрежены и поэтому должны давать узкую линию; в нижних слоях плотность газов велика, и они дают широкую линию; если бы наверху газа не было, то мы видели бы эту широкую линию целиком; но наверху имеется тоже газ, который дает узкую линию, и эта узкая линия становится как раз по средине широкой линии нижних слоев и закрывает середину этой линии, так что, хотя мы видим одну широкую линию, но свет от нее исходит не от одного и того же слоя: в середине линии мы имеем свет от самых верхних слоев данного газа, а чем дальше от середины линии по обе стороны, тем ниже слои газа; свет краев линии исходит уже почти от самой поверхности. Если теперь вторую щель спектрогелиографа поста-

вить на середину спектральной линии какого-либо элемента, мы получаем снимок верхнего слоя; если же щель поставить у края линии, получится снимок нижнего слоя; таким образом, передвигая щель внутри какой-либо линии солнечного спектра, мы как бы опускаемся вглубь солнечной атмосферы или поднимаемся вверх: кто бы мог подумать, что таким простым способом, как передвигание щели, можно достигнуть при изучении солнца таких же результатов, каких ученые, изучающие земную атмосферу, достигают поднятием на воздушном шаре или трудными восхождениями на высокие горы? При этом достигается даже гораздо больше, потому что снимок спектрогелиографа дает сразу картину всего огромного солнечного шара, поперечник которого почти полтора миллиона километров; а человек, летающий на шаре или поднимающийся на гору, получает понятие лишь о том, что творится в земной атмосфере в ближайшем соседстве его, самое большее — на протяжении каких-нибудь нескольких десятков километров. На рис. 33 изображена линия кальция, при помощи которой получаются снимки, вроде рис. 29; здесь перед вами вырезана маленькая часть солнечного спектра с линией кальция, сильно увеличенной, так что линия эта кажется широкой темной полосой. Узенькая темная линия в самой середине между двумя тонкими светлыми полосками [1] соответствует верхнему слоя кальция; этот слой и простирается до высоты 14 000 километров. Обе светлые полосы по бокам [1] исходят уже от более низкого слоя, который мы назовем *средним* слоем кальция; наконец по бокам этих светлых полосок находятся опять две темные полоски, которые к краю становятся светлее; они принадлежат уже *нижнему* слою кальция. Снимок рис. 29 был сделан с такой широкой щелью, что она вмещала в себе обе светлые полоски среднего слоя и темную полоску верхнего; так как полоски среднего слоя — светлые, то они-то главным образом и участвовали в получении снимка, и рис. 29, это — картина *среднего* слоя кальция; но хотя это только средний слой, тем не менее он выше слоев линий других веществ — водорода и железа (рис. 31 и 32). Верхний слой кальция при помощи того инструмента, которым сделаны снимки рис. 29—32, сфотографировать было невозможно из-за слишком широкой щели:

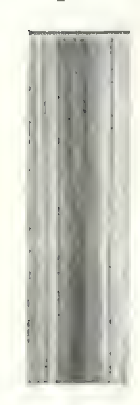


Рис. 33. Линия кальция.

[1] Хорошо видны лишь в верхней части фигуры.

для того надо было бы иметь щель по крайней мере такую же узкую, как темная полоска в самой середине линии кальция (рис. 33), нижний же слой сфотографировать не представляло никаких затруднений: для этого достаточно щель спектрогелиографа поставить на одну из боковых темных полос (рис. 33). Рис. 34 и представляет такой снимок нижнего слоя кальция, сделанный в тот же день, что и предыдущие четыре снимка. Этот снимок, соответ-



Рис. 34. Спектрогелиограмма солнца в лучах нижнего кальция.

ствующий слою, находящемуся невысоко над поверхностью, больше всего похож на снимок в линии железа, который, как мы уже упоминали, также соответствует довольно низкому слою (не более 1 000 километров); пятна видны так же хорошо, от факелов остался один «остов», хлопья слабые. Различие сравнительно со снимком поверхности (рис. 30) невелико. Сходство снимков рис. 32 и 34 так значительно, что, повидимому, оба слоя — нижний слой кальция и слой железа — находятся на одной и той же высоте.

Вернемся к рис. 33 и рассмотрим внимательнее вид спектральной линии кальция; вид этот очень поучителен. Начиная от краев к середине, линия эта темнеет постепенно. Мы уже знаем, что количество света, испускаемого самосветящимся телом, зависит от его температуры, и, сверх того, чем ближе к середине линии, тем выше слои газа; поэтому из постепенного потемнения линии к середине мы заключаем, что в высоких слоях солнечной атмосферы холоднее, чем в низких; температура на солнце постепенно убывает с увеличением высоты. В этом отношении солнце представляет полное сходство с землей; на земле тоже, чем выше подниматься (напр. на гору), тем становится холоднее, так что на высоких горах даже летом лежит снег. Причина этого явления тоже ясна: солнце есть горячее тело, которое часть своего тепла теряет в пространство и потому остывает; сильнее всего оно, конечно, остывает в наружных частях, — это и есть верхние слои его, — и потому оно там холоднее, чем в глубоких слоях, более близких к поверхности. Однако температура не все время убывает с удалением от поверхности; на некоторой высоте происходит заминка,— на это указывают яркие полоски среднего слоя; они ярче, чем соседние части нижнего или верхнего слоев, так что приходится допустить, что в этом среднем слое, на довольно значительной высоте над поверхностью солнца, газы почему-то сильнее нагреты, чем внизу или наверху; такое явление часто наблюдается и в земной атмосфере и называется оно обращением температуры. Для объяснения его можно придумать много причин, но которая из них истинная, — в настоящее время судить трудно. Как бы то ни было, мы здесь познакомились еще с одним свойством спектральных линий; они дают возможность узнать распределение температуры на различной высоте.

Как мы говорили, широкая щель того инструмента, при помощи которого получены были Хэлем снимки рис. 29—32, не позволила исследовать самый высокий слой кальция. Эта задача была выполнена во Франции Деляндром. Он в 1908 г. построил более могущественный спектрогелиограф, щель которого могла быть сделана очень узкой. Рис. 35—36, это — снимки, полученные Деляндром; сделаны они почти в одно время: первый изображает верхний слой кальция, второй снимок — верхний слой красной водородной линии. (На американском снимке рис. 31 взята фиолетовая линия водорода; напоминаем, что разные линии даже одного и того же элемента имеют разные высоты, так что слои, представляемые красной

и фиолетовой линиями водорода, далеко не одинаковы.) Снимок верхнего слоя кальция обнаруживает ряд замечательных особенностей. Во-первых, хлопья здесь еще крупнее, чем в среднем слое; затем пятна почти совершенно закрыты факелами, так что в верхнем слое они совсем отступают на второй план, в то время как на поверхности солнечные пятна оказываются самыми заметными

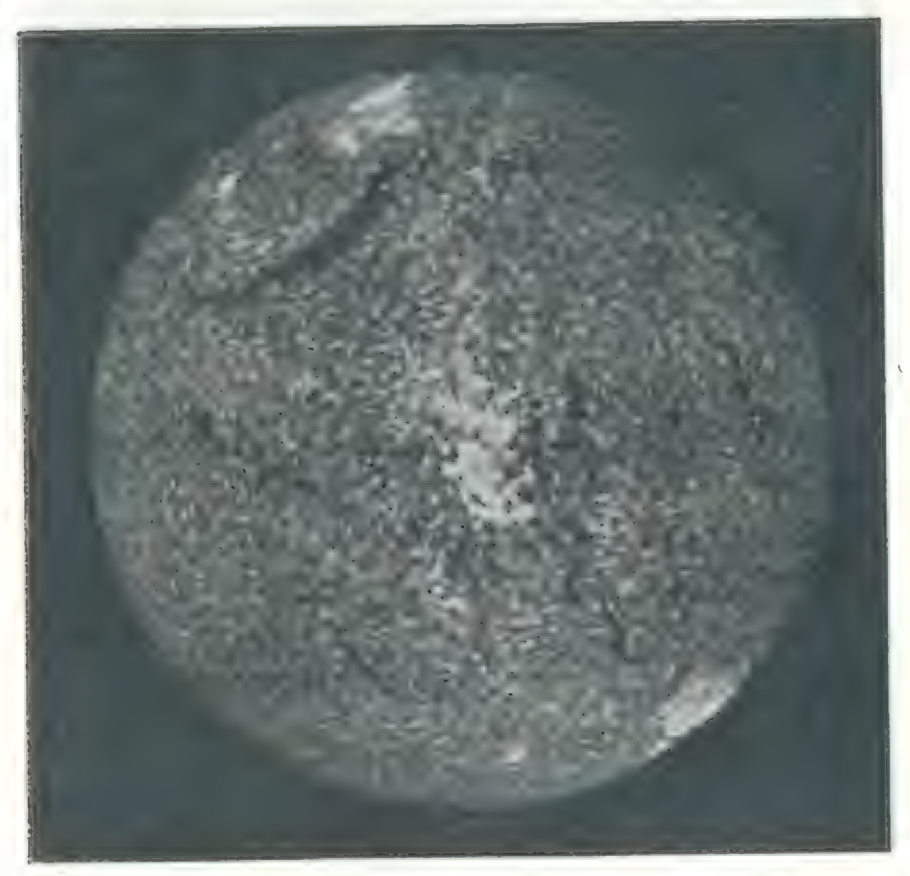


Рис. 35. Спектрогелиограмма солнца в лучах верхнего слоя кальция.

из всех явлений. Но главная особенность этого верхнего слоя — большие, темные, неправильной формы полосы, получившие название волокон. Как показали наблюдения, волокна плавают еще выше, чем остальные предметы, видные на снимках, — хлопья, факелы и т. д. Они как бы закрывают то, что находится внизу. Как пятна для поверхности так волокна для верхнего слоя являются

самыми главными предметами. Как и пятна, волокна могут существовать долго — иногда целыми месяцами; когда волокно подходит к солнечному краю, то на его месте или близ него бывает виден протуберанец, и отсюда недалеко до заключения, что волокна — не что иное, как спокойные протуберанцы, наблюдаемые сверху



Рис. 36. Спектрогелиограмма солнца в лучах верхнего слоя водорода.

(тогда как обычно они видны сбоку — у солнечного края). Темными они кажутся лишь потому, что температура их ниже, чем у нижележащих слоев, сбоку же они должны казаться светлыми, совершенно так же как и линии солнечного спектра темны на самом диске, а у края — в спектре вспышки — кажутся яркими. Справедливость сказанного особенно подтверждается сравнением двух

снимков, сделанных спектрогелиографом (рис. 37 и 38). Первый есть снимок одного спокойного протуберанца, сделанный в Америке Слокумом 17 марта 1910 года; протуберанец этот находился на экваторе солнца, у восточного края, имел длину около 500 000 километров при 70 000 *км* высоты [1]). Второй снимок — фотография среднего слоя кальция — сделан Эвершедом в Индии, 6 дней спустя; за эти дни солнце вследствие вращения должно было повернуться справа налево почти на четверть оборота, и протуберанец, который 17 марта был на правом краю, должен был теперь приблизиться к середине; и вот, действительно, на снимке 23 марта (рис. 38) немного правее середины, как раз в том самом месте, на котором должен был очутиться и протуберанец, видно волокно слегка изогнутое; это волокно, очевидно, — тот же протуберанец, только видный сверху. Между прочим, здесь перед нами редкий случай, когда волокно видно на снимке среднего слоя; это бывает лишь с немногими волокнами, обыкновенно же они получаются лишь на снимках верхнего слоя. Протуберанец — волокно, о котором мы говорили, просуществовал сравнительно долго — около 2 месяцев, успев два раза обернуться благодаря вращению солнца.



Рис. 37. Спокойный протуберанец по фотографии Слокума 17 марта 1910 г.

Рис. 36 есть изображение верхнего слоя красной водородной линии; из всех линий водорода красная линия показывает наибольшую высоту; поэтому снимок этот мы будем называть *снимком верхнего слоя водорода*. Здесь опять бросаются в глаза те же самые

---

[1]) На этом снимке солнечный край зачернен, чтобы он не мешал; на самом деле этот край, конечно, светлый; объясняем это для того, чтобы снимок этот, сделанный при полном солнечном свете, не смешать с наблюдениями во время солнечных затмений, когда диск солнца действительно, а не на рисунке, как здесь, закрывается темным телом — луной.

волокна (или протуберанцы), что и в верхнем слое кальция. Это и понятно: ведь главная составная часть протуберанцев — водород. Пятна здесь тоже закрыты. Это все показывает, что мы здесь имеем дело с очень высоким слоем; этот верхний слой водорода, повидимому, находится между средним и верхним слоями кальция.

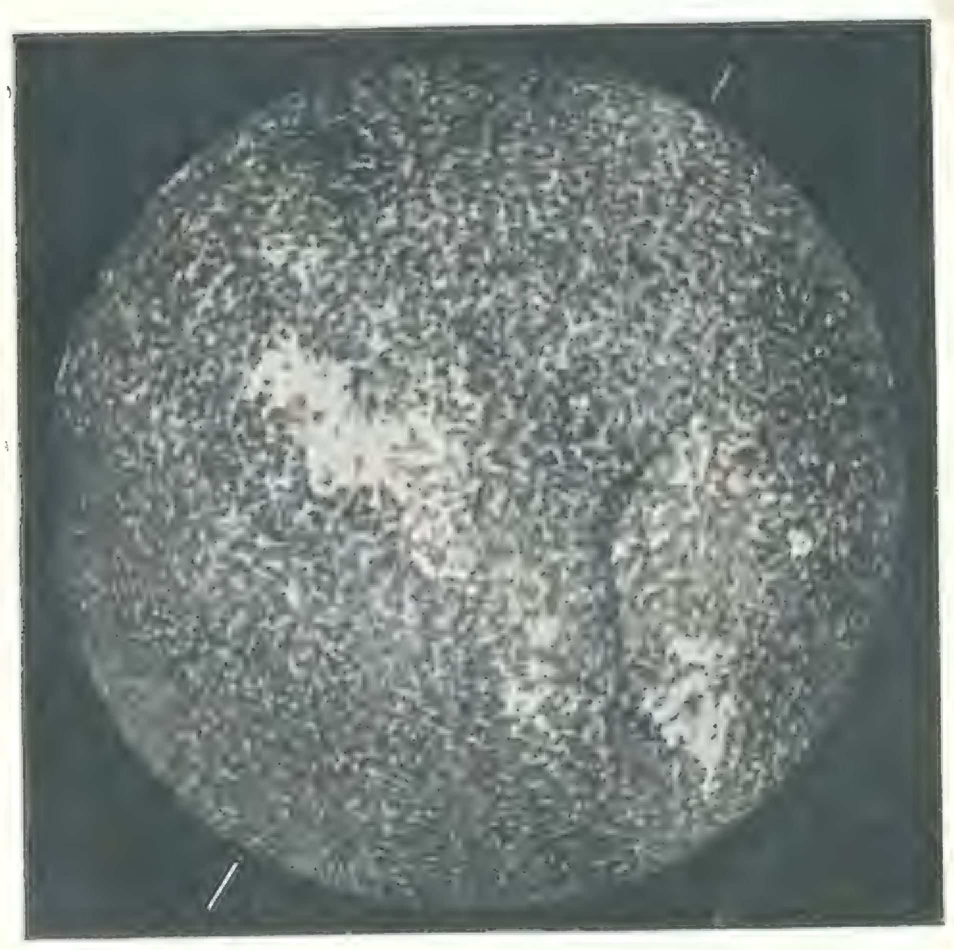


Рис. 38. Спектрогелиограмма солнца с волокном.

Впрочем, буквально этого понимать нельзя; напомним, что водород — тело очень прозрачное, так что одновременно можно видеть высокие и низкие слои, — эти последние как бы просвечивают. Поэтому водородные снимки обнимают большую толщу солнечной атмосферы, и по ним трудно получить понятие о строении какого-

либо одного слоя; в этом отношении кальциевые снимки гораздо удобнее, так как пары кальция мало прозрачны, и каждый снимок есть действительно изображение одного только узкого слоя. Такой прозрачностью водорода можно объяснить то, что на снимке верхнего его слоя (рис. 36) крупные хлопья совершенно отсутствуют; вспомним картину, которую давала фиолетовая линия водорода (рис. 31) или средний его слой (как мы теперь будем называть этот снимок): там все хлопья получались наоборот; при снимках же верхнего слоя водорода благодаря его прозрачности должны сразу получиться хлопья среднего слоя кальция как (рис. 29) и



Рис. 39. Спектрогелиограммы бурного протуберанца.

обратные хлопья среднего водорода (рис. 31); светлые места первого слоя должны совпасть с темными местами второго и наоборот, и в результате вид поверхности должен получиться ровный: хлопья перестанут быть видными.

Спектрогелиограф оказался очень полезным в деле изучения протуберанцев; раньше, рассматривая их в узкую щель, в которую часто протуберанец целиком не помещается, было трудно передать с точностью их вид, величину и т. д. Теперь же явилась возможность воспользоваться всеми преимуществами фотографии — точностью. быстротой и т. д. Пример снимка протуберанца мы уже видели на рис 37, — это был протуберанец спокойный, долговременный. Рис. 39 дает нам картину бурного протуберанца — настоящего

извержения на солнце. Снимки сделаны тем же американским астрономом Слокумом, что и рис. 37. Тут три последовательных снимка. На первом — высота протуберанца достигает 120 000 километров; второй снимок сделан спустя 43 минуты; за это время вершина протуберанца успела пролететь еще 120 000 километров, достигнув высоты 240 000 километров. Третий снимок сделан спустя 48 минут после второго; от яркого протуберанца почти ничего не осталось: он рассеялся, как дым; на самой пластинке заметно было еще слабое облачко на высоте 290 000 километров, но оно так слабо, что на отпечатке его не видно. Спустя два часа и от этого облачка уже не осталось и следа.



Рис. 40. Спектрогелиограмма хромосферы.

Спектрогелиографические снимки дают нам картину разных, преимущественно высоких, слоев солнечной атмосферы или хромосферы. Представляется интересным вопрос: какой вид имеет хромосфера сбоку, каков вид ее в разрезе? Во время затмений, правда, хромосфера видна, но слишком короткое время. Зато спектрогелиограф дает возможность снимать ее с удобством во всякое время. Такой снимок, сделанный Слокумом, изображен на рис. 40; здесь поместилась лишь часть солнечного края; само солнце, как и на снимках протуберанцев, сделано на рисунке искусственно черным, чтобы удобнее было рассматривать поднимающуюся над его краем хромосферу. Эта последняя представляется в виде светлого слоя, высотою около 6 000 километров, с зубчатою неровною поверхностью; поверхность эта напоминает море

в бурю — везде вздымаются как бы волны, только волны эти огненные, и высота их достигает 2—3 тысяч километров; они на самом деле не что иное, как маленькие протуберанцы. Если сравнить этот снимок, сделанный в лучах кальция, со снимками рис. 29, 35 и др., то невольно является мысль: не представляют ли все эти хлопья, которые видны на кальциевых снимках, картину тех же волн хромосферы, только рассматриваемую сверху. К сожалению, хлопья настолько мелки и недолговечны, что проверить это предположение сравнением с волнами хромосферы трудно.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ДВИЖЕНИЯ И МАГНЕТИЗМ НА СОЛНЦЕ

Для понимания того, что происходит на солнце, самым важным из всех исследований является, пожалуй, исследование движений. Все в мире движется, жизнь вся — сплошное движение; узнать какой-либо предмет, это — прежде всего значит узнать, что он делает, как он двигается; не знать этого, значит не знать самого главного. Если нам только показывать фотографию какого-либо человека, мы его сможем узнать, но мы его не знаем; нам надо еще знать его дела, действия — кто он такой, чем занимается и т. д. Также не можем мы получить полного понятия о солнце только по его внешнему виду; в недрах этого газового шара, где всякая частица свободна, и движение не встречает никаких твердых преград, не может быть ни минуты покоя; бесконечное число самых разнообразных движений — течений, вихрей, взрывов — совершается там каждое мгновенье, и не знать этих движений значит не знать самого солнца.

Есть два способа исследования движений. Первый способ — непосредственное наблюдение: мы смотрим на солнце, примечаем интересующий нас предмет, и спустя некоторое время снова смотрим и на глаз определяем, насколько этот предмет передвинулся; ясно, что то же самое можно с еще большим успехом выполнить при помощи фотографии. Таким способом было определено вращение солнца — по наблюдениям пятен, а также движения при солнечных извержениях; рис. 39 является прекрасным примером применения этого способа.

Способ этот, однако, обладает одним недостатком: при помощи него можно узнать лишь, когда предмет двигается вбок (влево, вправо, вверх и т. д.), можно наблюдать лишь боковое движение; приближение же или удаление предмета, или, как еще говорят, движение по лучу зрения, заметить нельзя. Правда, вы можете

возразить, что непосредственным наблюдением можно заметить также движение по лучу зрения; напр. когда вы стоите у полотна железной дороги, то приближение или удаление поезда нетрудно определить по возрастанию или убыванию его размеров. Но земной пример в данном случае не подходит: солнце находится так далеко от нас, что заметить кажущееся увеличение размеров какого-либо предмета, приближающегося к нам по поверхности солнца, или уменьшение размеров удаляющегося предмета совершенно невозможно.

Другой способ определений дает опять все тот же чудесный прибор — спектроскоп, о котором нам уже столько приходилось говорить. При помощи спектроскопа можно как раз определить то, чего нехватает при непосредственных наблюдениях,— движения по лучу зрения; спектроскоп показывает: удаляется ли или приближается к нам какой-либо предмет, и с какой именно скоростью. Посмотрим, каким же образом это достигается. Для этого нам придется опять вернуться к первоисточнику всех наших знаний о солнце — к световому лучу. До сих пор мы не пытались узнать точнее, что собой представляет свет; нам достаточно было знать, что раскаленные тела испускают свет, что свет движется очень быстро — со скоростью 300 000 километров в секунду; что белый свет — не простой, а состоит из множества других цветов: красного, голубого и т. д. и может быть при помощи призмы спектроскопа разложен на эти составные части. Теперь нам придется коснуться самой сущности света. Всякий видел волны на поверхности воды; если в спокойную поверхность пруда бросить камень, ударить по ней палкой и т. п., то от места удара кругами во все стороны разойдутся волны, которые затем одна за другой ударяются о берег и оставляют на нем свой отпечаток. Такие же волны представляет собой свет, но распространяются световые волны уже не по воде, а в среде, которую называют эфиром. Эфир заполняет собой все — все тела, воду, воздух,— и находится он также там, где никаких других тел не имеется: в «пустом» или безвоздушном пространстве; это «пустое» пространство находится между нами и небесными телами, и не будь оно заполнено светоносным эфиром, мы о существовании этих небесных тел ничего бы не знали: не существовало бы для нас солнца, лишены были бы мы его света и тепла, не видно было бы ни луны, ни звезд, все было бы темно. Как волны воды о берег, так волны света ударяются о чувствительную поверхность нашего глаза или о фото-

графическую пластинку, оставляя свой след: глаз наш чувствует эти удары и, как мы говорим, видит свет; пластинка запечатлевает их на своей поверхности.

Роль предмета, взбудораживающего поверхность воды, здесь играют частицы светящегося тела. В теле находятся мельчайшие частицы — электроны, такие маленькие, что в самые сильные увеличительные стекла они не видны; размером они во много миллионов раз меньше булавочной головки. Эти электроны находятся в постоянном движении — они непрерывно колеблются взад и вперед с большой быстротой и, колеблясь, ударяют об эфир, как камень о воду, вызывая этим появление световых волн, которые затем от светящегося тела расходятся с огромной быстротой во все стороны и, достигая нашего глаза, рассказывают нам про тело, колеблющиеся электроны которого послали их к нам. (См. главу II.)

Волны света могут быть частые и редкие, и от этого происходит разница в цвете; свет красный состоит из совершенно таких же волн, как и зеленый, разница лишь в том, что волны красного света следуют сравнительно редко одна за другой, волны зеленого — часто; таким образом свет различных цветов отличается только числом колебаний в секунду. При этом число колебаний вполне определяется положением данного цвета в спектре. В видимом спектре два конца или два крайних цвета — красный и фиолетовый, между которыми в определенном порядке располагаются остальные цвета и оттенки: оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий. Так вот, из всех этих цветов наименьшее число колебаний имеет красный, наибольшее — фиолетовый, а число колебаний остальных цветов следует тому порядку, в каком они располагаются в спектре: чем ближе к фиолетовому концу спектра, тем число колебаний больше, а к красному концу — меньше. Число колебаний в секунду вообще очень велико; для красного света оно составляет 400 биллионов, для фиолетового — 700 биллионов (биллион — тысяча миллиардов, или миллион миллионов); трудно представить себе такие громадные числа; если сосчитать волосы на головах всех людей земного шара, то это число все-таки будет меньше упомянутых чисел.

Итак, пусть светящееся тело дает спектр, в котором имеются какие-либо линии — темные или светлые, безразлично; каждая линия находится в определенном месте спектра — она имеет свой вполне определенный цвет и определенное число колебаний в се-

кунду. Пусть тело движется, приближаясь; тогда волны света будут чаще приходить к нам, потому что путь, который эти волны должны пройти от тела до нас, будет сокращаться, и они будут употреблять все меньшее время на прохождение этого пути; а раз частота волны или число колебаний будет больше, то и цвет линии спектра должен измениться, — красный сделается более желтоватым, зеленый — более голубым, вообще цвет станет ближе к фиолетовому; но тогда и сама линия должна переместиться в спектре, потому что каждому цвету соответствует свое место; она передвинется в сторону фиолетового конца спектра. Наоборот, если тело от нас удаляется, то световые волны будут реже достигать нашего глаза, цвет линии сделается более красным, и она переместится к красному концу спектра. По величине смещения линии можно определить скорость приближения или удаления, вообще говоря, *лучевую скорость.*

В то время как простым наблюдением нельзя определить лучевую скорость, спектроскопический способ не может дать никаких указаний на боковое движение; таким образом оба способа как бы дополняют друг друга: один дает как раз то, чего другому нехватает, и, пользуясь одновременно обоими способами, можно получить полное понятие о движении тела.

Какие же движения обнаружены и исследованы на солнце? В главе I мы коснулись главного из этих движений — вращения. Там описан был способ непосредственного наблюдения солнечных пятен. Обнаружена была загадочная особенность: солнце вращается не как одно целое: близ экватора вращение быстрее, время оборота короче, чем в средних широтах. Хотя наблюдение боковых движений глазом или фотографией может дать вполне точное представление о вращении тела, так что применение спектроскопа в данном случае не представляется необходимым, однако здесь имеется другое неудобство: для наблюдений надо непременно выбрать какой-либо хорошо заметный предмет, в данном случае — пятно; пятнами поверхность солнца не всегда бывает богата; один день они есть, а другой — нет; кроме того значительная область солнца — около полюсов — совсем лишена пятен, и поэтому долгое время оставалось неизвестным, как там происходит вращение. Тут-то на помощь и пришел спектроскоп. Его удобство, между прочим, состоит в том, что никаких заметных для глаза предметов, выделяющихся на поверхности солнца, не требуется; достаточно навести спектроскоп на любое место диска, сфотографировать

спектр солнца и рядом спектр какого-либо земного элемента, напр. железа; в спектре солнца тоже имеются линии железа, и они будут находиться рядом с земными линиями железа (рис. 21); если происходит движение по лучу зрения, то солнечные линии все будут немного смещены в сторону от земных, и смещение этих рядом стоящих линий тогда легко измерить. Вращение солнца происходит с востока на запад; поэтому восточный край солнца приближается к нам, западный — удаляется, и все линии спектра у восточного края смещены к фиолетовому концу, у западного — к красному; по величине смещения можно определить скорость вращения. Так, американский астроном Адамс нашел, что каждая точка солнечного экватора проходит 2 050 метров в секунду (в 3 раза скорее винтовочной пули), или 177 400 километров в сутки; окружность солнечного экватора равна 4 400 000 километров, и, таким образом, время, в течение которого каждая частица обойдет кругом солнца, равна 4 400 000 : 177 400, или почти 25 суток (точнее — 24 дня 18 час.), а наблюдения пятен дали ровно 25 дней; таким образом оба способа дают почти один и тот же результат и подтверждают друг друга.

В предыдущей главе мы видели, как при помощи спектроскопа и спектрогелиографа можно исследовать различные слои солнца; когда исследовали вращение, то оказалось, что скорость его на разных высотах неодинакова: чем выше слой, тем он вращается быстрее; разница в скорости так велика, что верхний слой кальция,—тот, изображение которого дано на рис. 35,— обгоняет поверхность со скоростью 540 километров в час; если бы на земле наблюдалось такое же явление, если бы верхние слои нашего воздуха вращались настолько же быстрее, чем поверхность земли, то нам, для того чтобы из Москвы добраться до Владивостока, достаточно было бы подняться на воздушном шаре, и тогда быстрое вращение верхних слоев доставило бы нас в 15 часов на берег Тихого океана, а чтобы совершить кругосветное путешествие, достаточно было бы трех суток.

Как меняется скорость вращения слоев солнечной атмосферы с высотой, видно из следующих чисел; здесь в скобках указаны способ, каким определено вращение (1-й способ—непосредственное наблюдение или фотография, 2-й — спектроскопический), затем — предельная высота слоя над поверхностью, найденная или по наблюдениям спектра вспышки или другим способом, а также имена исследователей.

Время обращения на экваторе солнца равно:

для пятен (1-й способ, высота 0) —	25 дней (наблюдения многих астрономов)
» факелов (1-й способ, выше поверхности)	24 дня 16 часов (Стратонов, Россия)
» обращающего слоя (2-й способ, высота 700 *км*)	24 дня 18 ч. (Адамс, Америка)
» среднего слоя кальция (2-й способ, больше 5 000 *км*)	24 дня » »
» среднего слоя водорода (2-й способ, высота 8 000 *км*)	23 дня 16 ч. » »
» верхнего слоя кальция (2-й способ, высота 14 000 *км*)	23 дня 6 ч. (С. Джон, Америка).

Таким образом верхним слоям, чтобы обойти кругом солнца, требуется всего лишь $23^{1}/_{4}$ суток, или почти на 2 суток меньше, чем пятнам, находящимся внизу, у поверхности.

Еще бóльшая разница во времени обращения получается для различных широт солнца. Обнаруженное из наблюдений пятен замедление вращения при приближении к полюсам вполне подтвердилось спектроскопическими наблюдениями, при чем эти последние дали возможность исследовать вращение близ самых полюсов.

Результаты получились такие:

Широта солнечная	Время обращения (Для обращающего слоя)
0° (экватор)	24 дня 18 часов
30° »	26 » 6 »
45° »	28 » 4 »
60° »	31 » 6 »
75° »	33 » 8 »

Итак, в какое бы место на солнце мы ни направились — будем ли мы подниматься вверх, передвинемся ли от экватора к полюсам, — везде вращение происходит по-своему, независимо от вращения соседних мест; это явление возможно только потому, что солнце — тело газообразное. и указывает оно на то, что все его отдельные слои почти совершенно не связаны друг с другом, а при вращении скользят один на другом, как оси хорошо смазанной машины. Вообще солнце можно было бы сравнить со сложной машиной, где каждое колесо или ось вертится по-своему, с разными скоростями, если бы не было именно этого существенного различия; в машине все ее колесики связаны друг с другом так, что движение одного не может измениться без того, чтобы

не изменилось движение всех остальных, а отдельные «колеса» — слои солнца — лишены, повидимому, почти всякого сцепления, и каждый слой вращается так, как он раз навсегда пущен в ход. К сожалению, наши знания о солнце в настоящее время еще недостаточны для того, чтобы определить первоначальную причину всех этих особенностей солнечного вращения; без ответа также остается вопрос, чем именно поддерживается эта разница во вращении; дело в том, что как бы незначительно ни было трение, но оно все-таки должно существовать и должно уничтожать постепенно разницу во вращении; кроме того благодаря различным течениям, которые на солнце существуют так же, как и на земле, различные слои должны постепенно перемешиваться и таким образом как бы «цепляться» друг за друга, и это происходит так же долго как долго существует солнце; а существует оно уже не один миллиард лет; и если за это время все-таки различия во вращении не успели сгладиться, то должна существовать какая-то сила, нам неизвестная, их поддерживающая.

Кроме вращения, захватывающего все области солнца, на нашем светиле наблюдается множество других движений, иногда случайных, иногда же закономерных, захватывающих лишь отдельные области только в течение определенного промежутка времени. С некоторыми из таких движений мы уже встречались, напр. с движением раскаленных газов во время солнечных извержений.

Скорости во время этих извержений так велики, что у многих исследователей явилось даже сомнение: действительно ли там происходит передвижение вещества; выдвинули предположение: не есть ли это движение только кажущееся, вроде молнии или световых колебаний, которые с громадной быстротой перелетают с места на место, в то время как никакого передвижения вещества не происходит. Решить этот вопрос, наблюдая одни только боковые движения, не представляется возможным. Тут опять на помощь приходит спектроскоп; он показывает движение лишь тогда, когда светящееся тело действительно приближается или удаляется, и вот, оказалось, что когда в бурных протуберанцах обыкновенным способом наблюдались громадные боковые скорости, то спектроскоп обнаруживал тоже скорости такого же рода — в сотни километров в секунду; таким образом приходится допустить, что бурные протуберанцы, это — настоящие извержения вещества, а не кажущиеся явления.

Спокойные протуберанцы обнаруживают гораздо более медленные движения; скорости в них обыкновенно равняются нескольким километрам в секунду — от $^1/_2$ до 10 *км* (по наблюдениям Слокума), скорости эти, малые для солнца, для земных условий все еще очень велики. они в несколько раз превосходят скорость пушечного ядра. Как мы видели в предыдущей главе, протуберанцы можно наблюдать не только у солнечного края: на спектрогелиографических снимках верхнего слоя они получаются в виде волокон (рис. 35, 36 и 38). Деляндр исследовал спектроскопом движение в волокнах; оказалось, что в подавляющем большинстве из них происходит поднятие газов вверх, правда. с небольшой сравнительно скоростью — от $^1/_5$ до 2 *км* в секунду; это такие же приблизительно скорости, что и в спокойных протуберанцах. И понятно: ведь эти последние и волокна — одно и то же явление, видимое лишь под разными углами. Движение газов вверх указывает на то, что и спокойные протуберанцы представляют собой нечто вроде извержений, только очень медленных и долго продолжающихся,— это как бы дым, поднимающийся над обыкновенным пожаром, тогда как бурные протуберанцы можно сравнить со взрывом порохового склада.

Иногда, очень редко, случалось и в волокнах наблюдать бурные движения. Например 11 апреля 1910 года, в 8 часов утра, на Медонской обсерватории (во Франции) было замечено большое волокно, обнаружившее необычайно большую скорость поднятия в 10 часов скорость была наибольшая — свыше 100 *км* в секунду, а через $1^1/_2$ часа уже от волокна не осталось следа. В данном случае, очевидно, это был не спокойный протуберанец. а бурный; происходило такого же рода извержение, как изображенное на рис. 39, с тою разницей, что наблюдалось оно сверху, а не сбоку.

Было также исследовано движение в факелах кальция; они. наоборот, обнаружили опускание, тоже со сравнительно небольшими скоростями — до 3 *км* в секунду. Факелы обычно бывают близ пятен. и в верхних слоях часто даже их покрывают. Движение вниз указывает, что тут газы как бы втягиваются в пятно. Как увидим далее, когда будем говорить о движении в самых пятнах, это предположение подтверждается другими наблюдениями.

Если сравнить то, что сказано о движении в волокнах и факелах, покажется не случайным факт, что поднимающиеся газы — волокна — темны, а спускающиеся — факелы — светят ярко; действительно этому можно найти объяснение Газы, как известно, обла-

дают свойством сжиматься и расширяться; при этом от сжатия происходит нагревание (в этом можно убедиться хотя бы на примере воздушного насоса, которым накачивают велосипедные шины), а от расширения — охлаждение: внутри атмосферы — солнечной или земной, безразлично,— всякий газ находится под давлением тяжести вышележащих слоев, так называемого атмосферного давления, которое не дает газу расширяться; с поднятием вверх атмосферное давление уменьшается, так как там своим весом давит меньшее количество вещества, и поднимающийся газ, испытывая меньшее давление, как бы раздвигается — расширяется, и при этом охлаждается; наоборот, опускающийся газ, попадая в более плотные слои, сжимается и нагревается.

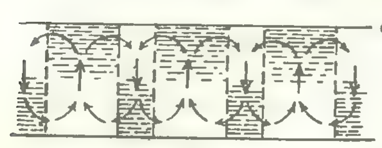
Эта причина объясняет и разницу во внешнем виде волокон и факелов; если предположить, что главная составная часть солнечной атмосферы — водород, то при поднятии на каждые 100 километров должно происходить охлаждение на 1 000^0, при опускании — соответствующее нагревание; правда, на самом деле изменения температуры будут не столь велики, потому что огромное количество тепла, испускаемое остальною солнечною поверхностью, снова нагревает поднимающийся газ, не давая ему сильно охладиться; и, наоборот, когда опускающийся газ сильно нагреется, то он начнет испускать сам много тепла, и дальнейшее нагревание приостанавливается, как бы то ни было, принимая во внимание, что опускания и поднятия могут происходить в огромных пределах — на тысячи километров, — вполне возможны изменения температуры в 2—3 тысячи и более градусов; вследствие этого поднимающиеся вверх газы волокна сильно охлаждаются и испускают поэтому мало света, — волокно кажется темным, а падающие вниз газы в факелах накаливаются от сжатия и ярко светят.

На остальной поверхности солнца, где нет факелов или волокон, спектроскоп тоже обнаруживает непрерывные движения. В одном месте наблюдается поднятие, в другом — опускание, при чем области с такими противоположными движениями следуют часто на небольшом расстоянии друг от друга. При этом в ярких хлопьях кальция чаще наблюдается опускание, над темными местами — поднятие, и эти беспорядочные движения в верхних слоях солнечной атмосферы скорее всего можно сравнить со вздымающимися и опускающимися волнами на поверхности океана; здесь, очевидно, спектроскоп сверху открывает нам ту же картину, которая сбоку изображена на рис. 40.

Если присмотреться к хлопьям кальция (рис. 29, 34, 35, 38), можно заметить у них своеобразное строение. Светлые хлопья окружают темные места, образуя ряд многоугольных ячеек, которые всю поверхность солнца покрывают сплошной сетью. Из только что сказанного про движение в хлопьях следует, повидимому, что в средине каждой ячейки происходит поднятие (темное место), а по краям — опускание. Оказывается, что в некоторых земных явлениях происходит то же самое; опыты показали, что если нагревать равномерно снизу жидкость, находящуюся в плоском, неглубоком сосуде, то там образуются течения; нагретая жидкость всплывает наверх, холодная опускается на ее место вниз, образуя таким образом кругооборот; при этом, если сосуд находится в покое, то эти течения происходят не беспорядочно, а обнаруживают правильное строение: вся жидкость разбивается на ряд многоугольных ячеек, и в середине каждой ячейки происходит поднятие, по краям — опускание, т.-е. совершенно так, как мы описали движения в хлопьях. Правда, с первого взгляда здесь обнаруживается существенное различие: в земных опытах поднимается наверх нагретая жидкость, в солнечных же ячейках поднимающийся газ — темный, т.-е. холодный: но это различие происходит именно потому, что в одном случае мы имеем дело с жидкостью, в другом — с газом; почему на солнце восходящие течения холодные, мы уже объяснили: оттого, что в них газ охлаждается от расширения; жидкость же этим свойством не обладает. Поэтому, исходя из сходства с описанным опытом над жидкостью, можно предположить, как это делает Деляндр, что причина образования хлопьев такая же: хромосфера, поднимаясь над поверхностью более чем на десять тысяч километров, имеет все-таки высоту малую сравнительно с размерами солнца — всего лишь одну сотую его поперечника — и может быть уподоблена жидкости, налитой в неглубокий сосуд; снизу подогревается она теплом, идущим в огромном количестве от находящейся в ближайшем соседстве поверхности солнца, и вследствие этого образуются такие же течения и ячейки, как в сосуде с жидкостью. Где же, спрашивается, надо искать «дно сосуда», т.-е. ту поверхность, где происходит самое сильное нагревание? Если в верхних слоях поднявшийся газ остыл благодаря расширению, то вначале, перед поднятием, он должен был быть сильно нагрет, ибо, по нашему предположению, нагревание явилось причиной его поднятия; поэтому в том слое, где происходит нагревание, внутренность ячеек должна быть уже не темная, а

светлая, края же более темные. — одним словом, хлопья в этом слое должны иметь вид, противоположный виду их в верхнем слое: темное должно быть светлым, светлое — темным. А такая картина как раз наблюдается в среднем слое водорода (рис. 31); высота его над поверхностью доходит до 8 000 *км*, а верхнего слоя кальция — до 14 000 *км*, так что глубина нашей «жидкости» будет что-нибудь вроде 6 000 *км*.

В пределах этого слоя и заключена вся та сложная сеть хлопьев—ячеек, которая так поражает наше внимание на спектрогелиографических снимках верхних слоев. Рис. 41 представляет



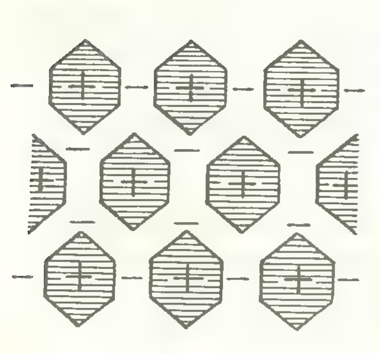
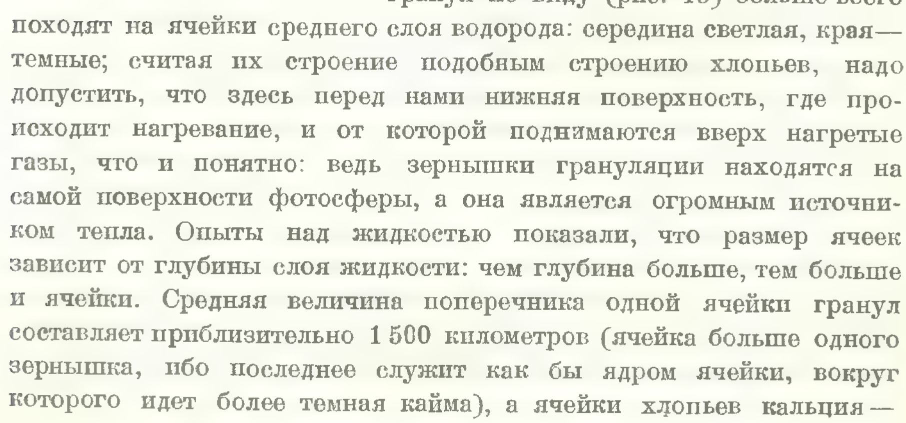


Рис. 41.

в упрощенном виде течения в пределах этого слоя; наверху — вертикальный разрез слоя, т.-е. вид его сбоку; стрелки показывают направление, в котором течет газ, а штриховка — относительную температуру: чем сильнее штриховка, тем холоднее. Внизу изображен вид сверху верхней границы всего упомянутого слоя (слой кальция); знак + означает поднятие, знак — опускание.

Мы знаем, что поверхность солнца — фотосфера — обнаруживает такого же рода ячейки, только гораздо более мелкие, это — зерна грануляции. Ячейки гранул по виду (рис. 15) больше всего



походят на ячейки среднего слоя водорода: середина светлая, края — темные; считая их строение подобным строению хлопьев, надо допустить, что здесь перед нами нижняя поверхность, где происходит нагревание, и от которой поднимаются вверх нагретые газы, что и понятно: ведь зернышки грануляции находятся на самой поверхности фотосферы, а она является огромным источником тепла. Опыты над жидкостью показали, что размер ячеек зависит от глубины слоя жидкости: чем глубина больше, тем больше и ячейки. Средняя величина поперечника одной ячейки гранул составляет приблизительно 1 500 километров (ячейка больше одного зернышка, ибо последнее служит как бы ядром ячейки, вокруг которого идет более темная кайма), а ячейки хлопьев кальция —

45 000 *км*, или в 30 раз больше: соответственно и толщина слоя, в пределах которого происходит кругооборот, — она здесь соответствует глубине жидкости, — должна для хлопьев быть в 30 раз больше, чем для гранул; первая, как мы видим, равна приблизительно 6 000 *км*; отсюда для грануляции получается толщина 6 000 : 30 = 200 километров. Приблизительно на такую высоту должны подыматься над поверхностью фотосферы потоки сильно нагретых газов, которые нам, наблюдающим явление сверху, кажутся в виде светлых зернышек; поднимающиеся газы охлаждаются, расширяясь, и затем падают снова вниз. Таким образом мы в пределах солнечной атмосферы различили два слоя, в пределах которых, повидимому, происходит непрерывный кругооборот газов, поднимающихся и опускающихся — один у самой поверхности, толщиной лишь какую-нибудь пару сотен километров, другой уже близ верхней границы атмосферы, на несколько тысяч километров над поверхностью, и толщиной около 6 000 километров. Что происходит между этими двумя слоями, — на это современные наблюдения пока ответа не дают; возможно, что там имеется еще несколько таких же слоев; если это так, то вся солнечная атмосфера будет состоять как бы из ряда этажей или ярусов различной толщины: чем выше, тем толще, внутри каждого из которых газы, разбившись на отдельные ячейки, все время текут от нижней границы яруса к верхней и обратно.

Теперь нам остается заняться теми явлениями, которые наблюдаются в солнечных пятнах. Открыты они были давно — свыше 300 лет тому назад, и с тех пор многие поколения астрономов тщательно их зарисовывали, считали, измеряли; и, несмотря на огромное количество труда и внимания, потраченного на них, можно считать, что до самого последнего времени о самих пятнах почти ничего не было известно; это не значит, что труды пропали даром: изучение пятен помогло разрешить ряд очень важных вопросов, касающихся солнца и, как мы увидим в одной из последующих глав, даже земли; здесь можно для примера указать на вращение солнца, которое до применения спектроскопа только и можно было обнаружить по пятнам. Но природа самих пятен оставалась загадкой, для разгадки которой было выставлено множество объяснений, но ввиду недостаточности данных нельзя было решить, которое объяснение правильно. Напр. прежде считали, что солнце — жидкое тело, подобное расплавленному железу или той лаве, которая вытекает из огнедышащих гор на земле,

а пятна принимали за остывшие и отвердевшие острова, плавающие среди огненного океана; потом обнаружилось, что солнце может быть только газообразно, и эта теория, таким образом, отпала сама собой. Другие считали их за вихри, подобные вихрям земной атмосферы, но не могли решить, что там происходит — поднятие или опускание, течение к пятну или прочь от него. Лишь в 1909 году английский астроном Эвершед, наблюдающий в Индии, сделал открытие, которое помогло хоть немного приподнять завесу, так долго скрывавшую от взоров исследователей эту тайну; при помощи спектроскопа он обнаружил в пятнах движение. Более подробно это движение было исследовано в Америке С. Джоном на самой крупной из обсерваторий, занимающихся изучением строения небесных тел, так называемой солнечной обсерватории, на горе Вильсон в Калифорнии.

Прежде чем излагать результаты исследований, нам придется еще раз коснуться особенностей линий спектра, по смещениям которых движение было определено. Как видно на рис. 21, линии солнечного спектра сильно различаются между собою по внешнему виду: одни из них черные и легко заметны, другие — серые и слабее видны, а третьи — еле-еле выделяются. Степень заметности линий называется их интенсивностью. Интенсивность принято обозначать некоторыми цифрами; у самых слабых линий, еле заметных для глаза, интенсивность обозначается нулями: 0000, 000, 00 и 0; чем больше нулей, тем слабее линия. Для более заметных линий пишут числа: 1, 2, 3, 10 и так далее; чем больше число, тем заметнее линия; очень крупные линии имеют интенсивность больше 10; например у красной линии водорода интенсивность 40, а у линии кальция, при помощи которой получаются спектрогелиографические снимки, интенсивность определяется числом 1 000; это самая крупная из всех линий. В главе II, касаясь вопроса о высоте элементов в солнечной атмосфере, мы говорили, что собственно каждая линия имеет свою высоту; тогда мы описали способ определения высоты по снимкам спектра вспышки во время солнечных затмений. Оказывается, что по одному виду линий, именно по их интенсивности, можно тоже судить о сравнительной высоте над солнечной поверхностью того слоя, в котором эта линия образуется. Интенсивность какой-либо линии зависит от двух причин — от ее ширины и от ее черноты; чем шире и чернее линия — тем она заметнее, следовательно интенсивность больше. Рассмотрим сначала первую причину. Известно, — об этом говори-

лось выше,— что ширина линии тем больше, чем плотнее газ; если какая-нибудь линия от природы слаба, то для того, чтобы сделать ее заметной, надо, чтобы она стала достаточно широкой, следовательно плотность газа должна быть велика, тогда как для заметности сильной линии достаточно малой плотности газа: но газ тем плотнее, чем глубже он находится; в нижних слоях атмосферы он плотен, в верхних — редок. поэтому тонкая линия будет соответствовать низким слоям, а широкая — высоким, потому что для нее особенной плотности газа не требуется. То же и с чернотой; чернота линии происходит от того, что газ, поглощение которого вызывает появление линии, холоднее, чем источник света, в данном случае—фотосфера; чем холоднее газ, тем чернее линия, и наоборот. Но низкая температура бывает в высоких слоях, высокая — в низких; поэтому, чем больше чернота линии, тем выше ее слой, и наоборот. Итак, рассмотрение обеих причин, влияющих на интенсивность линий солнечного спектра, приводит к одному результату: чем слабее линия, тем меньше высота ее слоя, а чем больше интенсивность, тем толще и чернее линия, тем выше слой. Это правило, правда, допускает некоторые исключения, в особенности если сравнивать линии разных элементов: но для линий одного и того же элемента оно соблюдается с большой точностью; это можно, например, видеть из следующей таблички, в которой интенсивность линий кальция сравнивается с высотой, определенной для тех же самых линий по наблюдениям во время затмений. Мы видим, что здесь, действительно, чем больше интенсивность, тем выше слой.

Линии элемента кальция

Интенсивность	Высота (по спектру вспышки)
2	350 *км*
4	490 »
7	580
20	5 000 »
1 000	14 000 »

Теперь займемся вопросом о движении в солнечных пятнах. Эвершед открыл, что линии солнечного спектра в пятнах обнаруживают смещение, которое вполне объясняется движением вещества внутри пятна. При этом движение для различных линий оказалось различным. Большинство слабых линий солнечного спектра, интенсивность которых меньше 10 и которые соответ-

ствуют обращающему слою — самому низкому в солнечной атмосфере, показали *истечение* из пятна в направлении от центра прямо к его границам, при чем скорость истечения тем больше, чем слабее линия; наоборот, крупные линии хромосферы, — те самые линии водорода и кальция, слои которых так подробно исследованы при помощи спектрогелиографа—показали течение к пятну от границ пятна внутрь. Таким образом, если принять во внимание ту связь между интенсивностью линий и высотой, о которой мы только что говорили, окажется, что в глубоких слоях солнечной атмосферы происходит лучеобразное истечение газов из пятна во все стороны; чем глубже слой, тем скорость истечения больше; в самых глубоких слоях, доступных нашему наблюдению, она достигает 1 километра в секунду. С поднятием скорость убывает, и на некоторой высоте, приблизительно на границе обращающего слоя и хромосферы, нет движения; еще выше начинается уже обратное движение — втекание в пятно, сначала медленное, но усиливающееся с поднятием; на уровне среднего слоя водорода скорость втекания достигает уже более $^1/_2$ *км* в секунду, а в верхнем слое кальция — почти 2 километров.

Как и с какой скоростью происходит движение в пятнах, видно из таблицы: на стр. 103.

Большая часть чисел этой таблицы получена из одновременных наблюдений многих линий; число их показано в скобках при названии элемента; много линий надо брать потому, что при наблюдениях всегда бывают ошибки; напр. одни дадут слишком большую скорость, другие — малую; в среднем же для многих наблюдений эти излишки и недостатки сглаживаются, и получается уже число, близкое к истинному. Скорость движения здесь выражена не в километрах, как мы до сих пор делали, а в метрах в секунду— это для удобства, потому что скорости сравнительно малые, сравнительно, конечно, с другими движениями на солнце. Если же сравнить скорость «солнечного ветра» с земным, — а это движение солнечной атмосферы есть ведь такой же ветер, как и движение нашего воздуха,— то разница окажется огромная: во время бури у нас скорость ветра обыкновенно бывает 25—30 метров в секунду, а в самые страшные ураганы южных стран она не превосходит 60 метров; скорости же в пятне — этом солнечном урагане — раз в 20 больше.

Чтобы удобнее говорить о числах таблицы, перед каждым слоем поставлен номер; слоев здесь всего 10, и, напр. средний слой

Номер слоя в порядке высоты	Название слоя и элемента и число наблюдающихся линий	Средняя интенсивность линий	Скорость и направление движения	Предельная высота слоя по наблюдениям спектра вспышки
1.	Обращающий слой, низ — железо (4 линии)	00	Истечение 1 020 *м* в секунду	275 *км*
2.	Обращающий слой, середина — железо (55 линий)	2	Истечение 750 *м* в секунду	340 »
3.	Обращающий слой, середина — железо (40 линий)	5	Истечение 570 *м* в секунду	430 »
4.	Обращающий слой, верх — железо (24 линии)	8	Истечение 300 *м* в секунду	590 »
5.	Верхняя граница обращающего слоя — железо (25 лин.)	16	Истечение 60 *м* в секунду	810 »
6.	Нижняя хромосфера. Разные элементы: магний, кальций, алюминий, натрий, кремний, стронций (9 линий)	20	Втекание 140 *м* в секунду	2 200 »
7.	Средний слой водорода — водород (3 линии)	30	Втекание 540 *м* в секунду	8 000 »
8.	Средний слой кальция — кальций (2 линии)	—	Втекание 1 320 *м* в секунду	—
9.	Верхний слой водорода — водород (1 линия)	40	Втекание 1 500 *м* в секунду	—
10.	Верхний слой кальция — кальций (2 линии)	800	Втекание 1 890 *м* в секунду	14 000 »

кальция будем для краткости называть: слой № 8 и т. д. В последнем столбце дана предельная высота каждого слоя; предельная она потому, что во время солнечных затмений удается определить только наибольшую высоту, до которой еще заметно присутствие элемента или линии; это таким образом—высота верхней границы, где вещество очень разрежено и потому испускает мало лучей, главное же количество света должно исходить из более глубоких и плотных слоев; поэтому истинная высота каждого слоя будет значительно (приблизительно в 4 раза) меньше, чем показано в последнем столбце таблицы; так что истинная высота слоя № 10 будет что-нибудь вроде $3^1/_2$ тысяч, а слоя № 5 — около 200 километров; числа эти приведены лишь для примера. За точность их ручаться нельзя; пока что еще нет средства определять истинную высоту с такой же уверенностью, с какой определяется предельная; это, конечно, если мы желаем в точности знать высоту в километрах. Но у нас есть возможность определять относительную высоту слоев, т.-е. какой из слоев лежит выше или ниже другого. Про

один способ мы уже говорили. это — сравнение интенсивности линий; способ этот вполне пригоден лишь для линий одного и того же элемента. Другой же способ неожиданно получается из самих наблюдений над движением в солнечных пятнах. Как видно из нашей таблицы, скорость постепенно меняется от слоя к слою; пусть теперь нам известна скорость движения для какой-либо линии, тогда, отыскав в таблице ближайшую по величине скорость, можно определить, к какому слою ближе всего подходит данная линия. Напр. одна линия свинца обнаружила скорость истечения в 900 метров в секунду; в таблице скорость 1-го слоя (1 020 *м* в сек.) больше, а 2-го (750 *м* в сек.) меньше, чем эта скорость; отсюда заключаем, что слой этой линии находится посредине между первым и вторым слоем. Таким образом исследование движения в пятнах дало новый способ определения сравнительной высоты разных элементов и линий, при чем этот способ вернее других; в науке всегда так бывает: одно открытие влечет за собой целый ряд других открытий.

То, что происходит в пятне в схематическом (т.-е. упрощенном) виде, изображено на рис. 42. Этот чертеж представляет вертикальный разрез пятна с тенью и полутенью; наверху показано, как оно представляется на самом деле наблюдателю, когда он смотрит на пятно сверху. Цифры слева: 1, 2, 3... до 10. это — номера тех же слоев, что и в таблице на стр. 103. Стрелки показывают направление, в котором течет газ, а длина стрелки — скорость движения: чем стрелка длиннее, тем скорость больше. Пунктирные стрелки обозначают движение предполагаемое; оно не наблюдалось или потому, что слишком мало по величине, или же происходит в областях, скрытых от взора наблюдателя; но на основании некоторых соображений, - о них сейчас поговорим, — движение это существовать должно. Справа написаны названия трех главных подразделений солнечной атмосферы: 1) хромосфера, заключающая слои от 6 до 10 и выше; зазубренная линия наверху изображает ее верхнюю границу, при чем, как показали наблюдения, над пятнами она ниже, там образуется как бы впадина, происходящая, как увидим, от втягивания вещества в пятно; 2) обращающий слой, насчитывающий слои таблицы от 1-го до 5-го; 3) фотосфера и ниже ее—4) область, недоступная наблюдениям, потому что фотосфера непрозрачна и не дает видеть того, что под ней находится. Само же пятно по виду происходящего в нем движения разделено на три яруса, названия которых написаны слева. В верхнем ярусе вещество

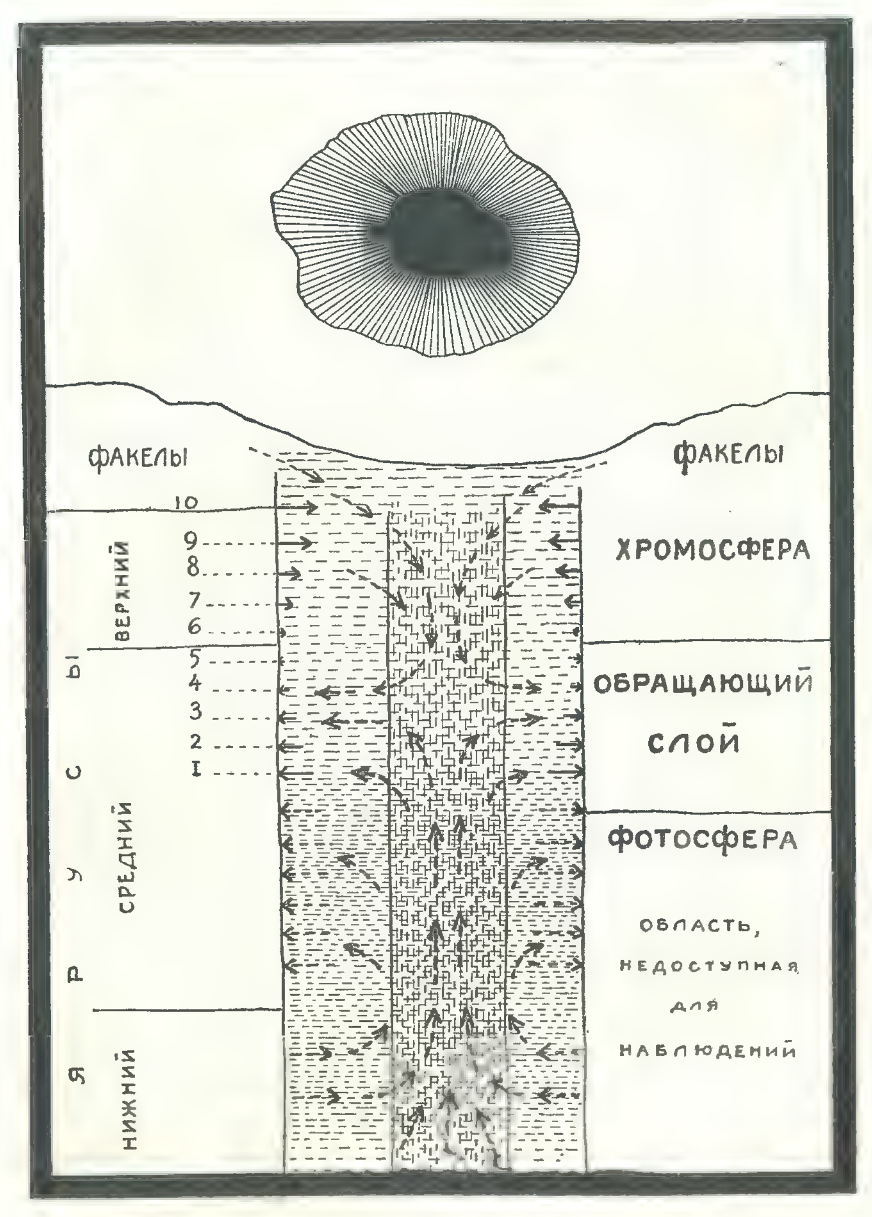


Рис. 42.

вливается в пятно не только сбоку, но и сверху; что оно сверху вливается, следует из наблюдений факелов кальция, обнаруживающих, как уже говорилось, нисходящее движение; из-за этого нисходящего

движения вещество над пятнами так сильно нагревается, что кажется уже не темным, а светлым, и потому на спектрогелиографических снимках верхних слоев пятна частью, или совсем, закрыты ярко светящимся веществом — факелами. Куда же девается это вещество, втекающее в пятно? Ясно, что для него единственный путь — течь вниз; вот почему в верхнем ярусе нами внутри пятна начерчены пунктирные стрелки, показывающие нисходящий ток. В среднем ярусе, обнимающем обращающий слой, фотосферу и часть неисследованной области, происходит истечение из пятна; ясно, что вещество, опускающееся сверху, из первого яруса, тут снова вытекает. Казалось бы, что здесь мы имеем полный кругооборот: в верхнем ярусе вещество вливается, опускается вниз, в средний ярус, там вытекает и где-нибудь в стороне снова поднимается наверх. Однако тут дело не так просто, как кажется. Дело в том, что в верхнем ярусе плотность газов очень мала, и поэтому, несмотря на значительную скорость, там вливается очень мало вещества; в среднем же ярусе плотность по крайней мере в 100 раз больше, скорость же не меньше, и количество (масса) вытекающего там вещества будет велико. Вычисления показывают, что из одной только верхней половины среднего яруса, той, которая доступна наблюдениям, вытекает по крайней мере в 200 раз больше, чем притекает из верхнего яруса; а сверх того средний ярус должен простираться еще на неизвестную глубину, потому что в самых глубоких слоях, которые удалось исследовать, скорость истечения все возрастает, и, значит, еще глубже это истечение должно продолжаться; ясно, что лишь ничтожно малая доля вытекающего вещества восполняется притоком из верхнего яруса. Из какого же источника в таком случае берется это столь щедро расходуемое пятном вещество? Ясно, что если не сверху, так снизу. Из глубоких недр солнца газы поднимаются вдоль по пятну, как по колодцу или трубе наверх и там, у поверхности, растекаются во все стороны; раз так, то где-нибудь в глубине должна существовать область, где это вещество собирается к пятну втекает в него; это и будет третий невидимый ярус; наш телесный взор до него не проникает, но наше умственное око — цепь рассуждений — различает нижний ярус столь же ясно, как и верхние два. Все эти предполагаемые движения — восходящее течение из нижнего яруса в средний. истечение в нижней половине среднего яруса и новое втекание в нижнем ярусе — обозначены пунктирными стрелками; пунктирная линия, по виду такая несмелая, здесь однако. вовсе не обозначает

неуверенности; наоборот, эти предполагаемые движения столь же достоверны, как и движения непосредственно наблюдавшиеся; разница здесь состоит разве в том, что неизвестна лишь величина скорости в этих невидимых областях, так же как и их глубина. Тут, между прочим, возникает один вопрос: почему наблюдения не обнаруживают восходящего тока в среднем ярусе, ведь он вполне доступен нашим наблюдениям? А ток этот должен существовать, ибо вещество, стекающееся к пятну в нижнем ярусе, должно сначала подняться наверх, чтобы затем вылиться из пятна в среднем ярусе. Причина того, что восходящий ток не наблюдался, — та, что скорость его слишком мала, и наши инструменты ее не в состоянии обнаружить. Это ясно из следующих соображений: средний поперечник исследованных пятен составлял 25 000 километров, тогда как высота среднего яруса — всего лишь несколько сот километров; таким образом этот ярус имеет вид широкого круга с очень малой высотой, подобно хотя бы кругу, выпиленному из тонкой доски (не надо брать в пример рис. 42: там высота для наглядности сильно преувеличена сравнительно с поперечником); течет вещество снизу через огромную площадь всего пятна, а должно вытекать через низенькие стенки, ограничивающие сбоку средний ярус; для каждого ясно, что если лить воду через большое и малое отверстие, то, чтобы выливалось одинаковое количество, надо, чтобы через большое отверстие вода текла медленнее, чем через малое. Поэтому и скорость, с какой вещество поднимается внутри пятна, должна быть во столько раз менее скорости истечения из среднего яруса, во сколько раз площадь всего пятна больше поверхности боковых стенок этого яруса. К этому присоединяется еще то, что вещество притекает снизу из плотных слоев; а вытекает наверху, в менее плотных слоях, так что скорость поднятия может быть еще меньше.

Если принять все это во внимание, то по вычислениям оказывается, что для возмещения убыли, происходящей от истечения, достаточно, чтобы вещество поднималось по жерлу пятна всего лишь со скоростью 20 метров в секунду в самых глубоких слоях, доступных наблюдению, а выше — еще с меньшей скоростью; а такую малую скорость при помощи спектроскопа обнаружить пока невозможно, так что нет ничего удивительного в том, что наблюдения никакого восходящего течения не показывают; наоборот, было бы совершенно непонятно, если бы была открыта большая скорость поднятия.

Восходящее течение является, очевидно, также причиной того, что пятна темнее остальной поверхности; как мы уже говорили по поводу движения в волокнах, факелах и хлопьях, здесь происходит сильное охлаждение газов от расширения, так как они из глубоких и плотных слоев переходят в верхние, менее плотные. Главное поднятие и охлаждение происходит, очевидно, посредине жерла, это — тень пятна; по краям же газы не столько поднимаются, сколько растекаются во все стороны, поэтому они успевают нагреться теплом, испускаемым остальными областями солнца, и получается полутень — менее темная часть пятна; «струйки» полутени, это,— повидимому, настоящие струйки, показывающие направление, по которому вещество вытекает.

Несомненно должна существовать причина, заставляющая газы пятна из глубины течь наверх; искать ее надо в нижнем ярусе, так что он, невидимый, является на самом деле самым главным; то, что мы видим, это — лишь верхушка пятна, лишь отголосок величественных явлений, протекающих в областях, недоступных нашему взору. Там, в глубине, скрыта неизвестная для нас сила, приводящая в движение этот сложный и громадный смерч, называемый солнечным пятном, где свирепствует невиданный ураган, перед которым наши земные ураганы — как дуновение легкого ветерка сравнительно с бурей, и в котором бесследно могло бы потонуть много таких земных шаров, как наш. Ближайшей причиной можно считать, что там, в глубине, вещество почему-либо сильно нагрелось, стало более легким и, как воздух в дымовой трубе, устремилось наверх. По пути же вследствие поднятия газы остывают и выходят на поверхность более холодными, хотя первоначально они были сильно нагреты. Таким образом в пределах нижнего яруса должна господствовать высокая температура[1], и если бы мы смогли удалить мешающие нам два верхних яруса, то на месте пятна увидели бы вместо темного ослепительно яркое место. Загадкой остается, однако, причина такого нагревания во внутренних областях солнца; тут дело гораздо сложнее, чем для хлопьев, у которых мы легко могли найти источник, подогревающий их снизу, это — само солнце. Дело в том, что хлопья покрывают поверхность верхнего слоя солнечной атмосферы везде и во всякое время, что вполне согласно

[1] По вычислениям Рэсселя, температура в нижнем ярусе пятна должна превосходить 20 000°; переходя из нижнего яруса в средний, газы должны подвергнуться более чем 30-кратному расширению, вследствие чего температура падает до 3—4 000°.

с постоянным характером предполагаемой причины их образования, — именно солнечного тепла. Пятна же появляются лишь в определенных частях солнечной поверхности и притом, как увидим в гл. VI, лишь в определенные годы, и эта особенность их заставляет предполагать для них и особую причину.

Спектроскоп, этот удивительный прибор, который нам открывает тайны явлений, происходящих на громадных расстояниях с большей точностью, чем с какой мы можем исследовать многие вещи у нас на земле, дает возможность определять издалека магнитную силу. На земле магнетизмом, т.-е. способностью притягивать куски железа и стали, обладают особые тела — магниты, а также электрический ток. Магнит, это — брусок стали, прямой или в виде подковы, которому особым способом — при помощи другого магнита или действием электрического тока — сообщены магнитные свойства. Он имеет два конца, или полюса, — северный и южный; оба конца одинаковым образом притягивают кусочки железа; но если поднести другой магнит, то оказывается, что южный полюс одного притягивает северный и отталкивает южный полюс другого; это свойство магнитов можно выразить так: одинаковые полюсы отталкиваются, а разные — притягиваются. Весь земной шар представляет собой тоже огромный магнит, полюсы которого расположены недалеко от земных полюсов; земной магнетизм действует, очевидно, на все магниты, находящиеся на земной поверхности, при чем тот магнитный полюс, который находится близ северного полюса земли, притягивает северные полюсы магнитов; тогда, по правилу взаимодействия магнитов, приходится допустить, что у северного географического полюса находится южный магнитный полюс земли, и наоборот; не нужно смущаться такой странностью, — тут все дело лишь в названиях. В компасе, который указывает мореплавателям и путешественникам путь, стрелка есть маленький магнит, поэтому один ее конец — ее северный полюс — притягивается магнитным полюсом земли, и поэтому он всегда показывает на север, в сторону соответствующего земного магнитного полюса. Возможно, что и другие небесные тела подобно земле тоже обладают магнитными свойствами, но притяжения ими земных магнитов совершенно нельзя заметить, так как эти тела находятся от нас на огромном расстоянии, а магнитная сила очень быстро уменьшается с удалением от магнита и может быть заметна лишь в близком соседстве от него. Но для самосветящихся тел, как солнце, спектроскоп дает возможность как бы *видеть* магнитную силу; именно, если самосветящееся тело находится близ маг-

нита, то спектральные линии его раздваиваются,— вместо одной получаются две. При известном расположении магнита возможно и утроение линий. Причина этого в общих чертах следующая: испускание света происходит от того, что мельчайшие частицы тела быстро колеблются и приводят в волнообразное движение светоносный эфир; эти частицы — «электроны» — заряжены электричеством и колеблются, вращаясь одни в одном направлении, другие в противоположном; когда нет магнита, то быстрота вращения в обоих направлениях одинакова; магнит же особым способом действует на эти вращающиеся электрические частицы, ускоряя вращение одних и замедляя вращение движущихся в противоположном

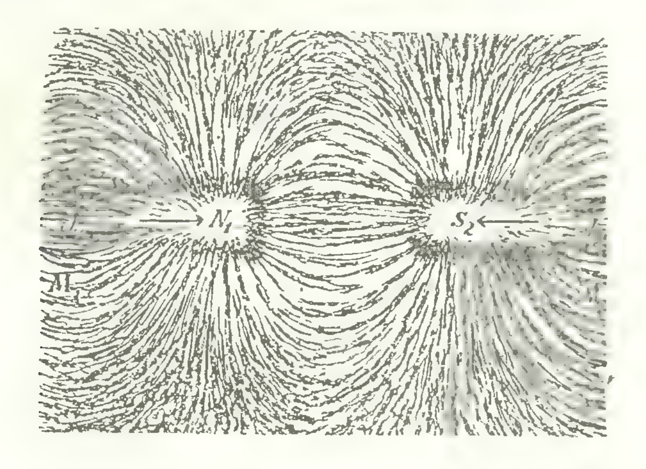


Рис. 43.

направлении; половина частиц будет давать более быстрые колебания, половина — более медленные; а от быстроты колебаний, как известно, зависит *цвет* испускаемого света. чем чаще колебания, тем цвет ближе к фиолетовому, а чем реже — к красному[1]. В таком случае тот газ, который без присутствия магнита испускал лучи только одного цвета, т.-е. давал одну линию в спектре, теперь будет испускать лучи двух различных цветов: один — немного ближе к фиолетовому, другой — к красному, и на месте прежней одной линии будут целых две; чем сильнее магнит, тем больше расстояние

[1] Приведенное здесь объяснение явления Зеемана не потеряло своего значения, как рабочая гипотеза, хотя основания этой гипотезы уже устарели; в популярном изложении следует предпочесть данное объяснение более сложному, основанному на теории Бора.

между этими линиями. При помощи некоторых приспособлений, описать которые здесь нет возможности, можно также узнать, как расположены полюсы магнита, напр. который из них — северный или южный — обращен к нам, а также можно проверить, действительно ли магнетизм является причиной раздвоения линий, или же здесь имеется какая-либо другая причина.

Уже в 1892 году Юнг открыл, что многие линии в спектре солнечных пятен двойные, тогда как на остальной солнечной



Рис. 44. Вихревые линии вокруг солнечного пятна.

поверхности они ничем особенным не отличаются; однако верного объяснения для этого явления он дать не смог. В 1908 году Хэль, тот самый, который первый построил и применил к наблюдениям солнца спектрогелиограф. доказал что причина раздвоения линий в солнечных пятнах — магнетизм. Оказалось, что пятно представляет собой огромный магнит, один из полюсов которого обращен к нам, другой же находится где-нибудь глубоко внутри, в неисследованных областях. Магнитная сила там очень велика, приблизительно в две

тысячи раз больше силы земного магнетизма, — и быстро возрастает с глубиной; на основании некоторых соображений можно заключить, что наибольшая величина магнитной силы пятна должна иметь место на глубине в 2—3 тысячи километров под поверхностью фотосферы; там же находится и ближайший к нам полюс магнита — пятна; другой же полюс должен находиться где-то на неизмеримой глубине.

Если вокруг магнита насыпать железных опилок, то они вследствие притяжения магнитом расположатся по особым линиям, как изображено на рис. 43. Оказывается, что на снимках среднего



Рис. 45. Втягивание темного волокна в солнечное пятно: 3 июня 1908 г, 4 час. 58 мин.

слоя водорода вокруг солнечных пятен получаются линии, похожие на эти. Хэль, открывший их, дал им название «солнечных вихрей» (рис. 44). Он считал, что в них вещество, кружась вихреобразно, низвергается в пятно; однако наблюдения в то время, за единственным исключением[1], никакого движения не могли обнаружить. Уже после

[1] 3 июня 1908 года удалось непосредственно на снимке наблюдать заметное перемещение в области «вихрей». Рис. 45—48 дают понятие об этом событии: это — снимки, полученные С. Джоном на солнечной обсерватории. Первые три — 3 июня с промежутками между 1-м и 2-м снимками в 16 минут, между 2-м и 3-м

открытия «вихрей» были произведены те исследования над движением в пятнах, о которых мы говорили выше; они подтвердили, что, действительно, на уровне «вихрей» происходит движение к пятну, однако вращения не показали. Кроме того, если бы эти линии происходили от вихревого движения в пятнах, то они наблюдались бы на всех уровнях или по крайней мере в более широком слое. Между тем многочисленные исследования Деляндра показали, что эти вихри наблюдаются лишь в очень узком слое — немного выше среднего слоя водорода, приблизительно посредине



Рис. 46. Втягивание темного волокна в солнечное пятно: 3 июня 1908 г., 5 час. 14 мин.

всего лишь в 8 минут. На этих снимках ниже пятна (двойного) видно темное волокно, которое приблизительно в том же положении наблюдалось уже в течение 5 дней; но 3 июня какая-то сила его начинает втягивать в пятно и волокно с огромной быстротой, достигающей 180 километров в секунду, на наших глазах низвергается туда. При этом сначала от левого конца волокна вытягивается «хобот» в сторону пятна (рис. 46). Рис. 48 показывает вид пятна на следующий день; волокно исчезло, его поглотило пятно; а между тем длина этого волокна достигала 140 000 километров; однако надо заметить, что при этом в мелких линиях и точках, именно и образующих «солнечные вихри», никаких движений не было замечено; волокно, очевидно, находилось на гораздо более высоком уровне, где и происходило бурное движение; таким образом описанное явление совершенно подобно тому, что наблюдал Деляндр 11 апреля 1910 г; движения же внутри самого вихря не наблюдалось.

между слоями 7 и 8 рис. 42; рис. 49 и рис. 50 дают понятие о разнице между видом слоя «солнечных вихрей» и слоя кальция, рис. 50 — снимок пары соседних пятен, сделанный в Америке Фоксом и Абетти, и соответствует он упомянутому слою водорода; рис. 49 — снимок среднего слоя кальция, находящегося выше, чем уровень «вихрей»; этот снимок сделан всего лишь за два часа до водородного снимка, так что оба снимка можно считать почти одновременными. Разница между видом обоих слоев огромная: на кальциевом снимке не видно и следа линий «вихрей», тогда как на водородном



Рис. 47. Втягивание темного волокна в солнечное пятно: 3 июня 1908 г., 5 час. 22 мин.

отсутствуют мелкие яркие хлопья, а факелы около пятен значительно меньше. Линии вихрей, лучеобразно выходящие из пятен, на рис. 50 сильно напоминают картину железных опилок на рис. 43, и весьма вероятно, что причина их — действие магнитной силы пятна на какие-нибудь мелкие тела, которые по какой-либо причине собраны именно в этом слое солнечной атмосферы, в других же слоях отсутствуют. Что это за тела, — трудно сказать: магнит, как мы знаем, действует на твердое железо, а также и на движущиеся частицы, заряженные электричеством; твердого железа на солнце нет, — оно все там в газообразном состоянии; поэтому вернее всего, что это потоки электрических частиц — электронов; электро-

ны могут внутри какого-либо газа двигаться совершенно самостоятельно, газ сам может оставаться в покое.

Что бы собой ни представляли линии вихрей, одновременные наблюдения Хэля над ними и над магнетизмом в пятнах показали, что между обоими явлениями существует тесная связь. На снимках рис. 50 линии вихрей идут к пятну, изгибаясь; такие линии называются спиралями. На снимке спирали видны неясно, поэтому для удобства они схематически[1] изображены на рис. 51. Если предположить, что по спиралям движется какое-либо тело к пятну,



Рис. 48. Втягивание темного волокна в солнечное пятно: 4 июня 1908 г.

как показано стрелками на спиралях, то это тело, прежде чем достигнуть пятна, будет кружиться или вращаться около него; мы видим, что для обоих пятен направление вращения противоположно. Наблюдения Хэля показали, что такие пятна, как левое, у которого предполагаемое вращение происходит против стрелки часов, представляют собой южный полюс магнита; а такие, как правое пятно, у которого вращение идет по стрелке часов, представляют северный полюс; при этом неоднократно наблюдалось такое близкое соседство двух пятен: одно — в северном, другое — в южном полу

[1] Схематически — в упрощенном виде.

шарии, но близ экватора, и всякий раз магнетизм таких пятен оказывался противоположным; поэтому было сделано предположение, не являются ли такие два пятна концами, полюсами одного и того же магнита. В таком случае оба пятна должны быть соединены друг с другом, — их жерла, уходящие вглубь солнца, должны там где-нибудь встретиться, образуя как бы одну исполинскую изогнутую трубу. Это, впрочем, является лишь предположением, и решить вопрос о связи между пятнами, о причине их магнетизма и о солнечных вихрях — дело будущего.



Рис. 49. Спектрогелиограмма солнечных пятен в лучах кальция.



Рис. 50. Спектрогелиограмма солнечных пятен в лучах водорода (вихревой слой).

Насколько закономерно появление пятен парами, видно из следующего. Во многих случаях, когда видимо было одно лишь пятно, Хэль, производя поиски в окрестностях этого пятна, обнаруживал в некотором определенном месте, недалеко от пятна, магнитную силу с магнетизмом, противоположным магнетизму пятна. Следя за этим местом некоторое время, оказывалось, что там образовывалось настоящее второе пятно. Таким образом магнитная сила предсказывала появление пятна задолго до того, как оно становилось видимым.

Когда были открыты магнитные свойства пятен, явилась мысль: нельзя ли обнаружить магнетизм всего солнца; для этого надо было исследовать вид линий спектра для различных частей солнечной поверхности, вне пятен. Магнетизм был обнаружен, но сила его оказалась сравнительно малой: она всего лишь в 40 раз приблизи-

тельно больше магнитной силы земли и раз в 50 слабее магнетизма в пятнах. Это не значит, чтобы солнце было менее значительным магнитом, чем часть его — пятна; дело в том, что магнетизм пятна, хотя и большой по величине, действует лишь на небольшом пространстве — в пятне и ближайшем его соседстве, тогда как магнитная сила солнца хотя и слабее, зато распространена по всей огромной его поверхности. Однако в вертикальном направлении действие общего магнетизма солнца, повидимому, весьма ограничено: магнитная сила очень быстро убывает с высотой, и в доступных

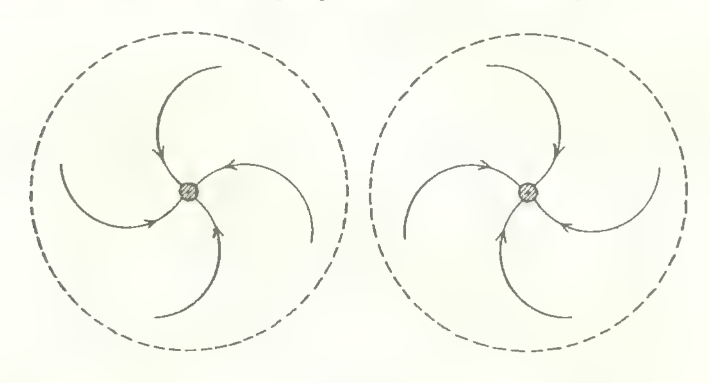


Рис. 51.

нашему наблюдению областях солнца лишь самый глубокий слой, толщиной всего лишь в 150 километров, обнаруживает действие этой силы. Полюсы солнечного магнетизма расположены так же, как и на земле,— близ полюсов вращения, при чем южный магнитный полюс находится у северного полюса солнца. Таким образом, если бы страшная жара не препятствовала кораблям плавать по солнечному океану, то в распоряжении мореплавателей имелся бы компас, который им таким же образом указывал бы путь, как и на земле.

Как и на земле, магнитный полюс солнца не совпадает с полюсом вращения; поэтому магнитный полюс должен вращаться вокруг общей оси, и вместе с этим вращением должны происходить кажущиеся колебания магнитной силы солнца; по этим колебаниям Бауэр (в Америке) нашел период вращения магнитного полюса в 33 дня — период, близкий к периоду, найденному спектроскопическим путем для околополярных областей (см. стр. 93).

ГЛАВА ПЯТАЯ

СОЛНЕЧНОЕ ТЕПЛО

Из всех свойств солнца для нас, жителей земли, самым важным является его способность излучать теплоту и свет. Все, что мы имеем, чем живем и работаем, — всем этим мы обязаны солнечным лучам. Пища наша в конечном счете дается растениями, потому что те животные, которые поставляют для нас некоторые виды пищи, сами питаются растениями. Растения же, это — настоящие дети солнца, — в темноте, без солнечного света, они расти не могут. Что же дают им солнечные лучи? Во-первых, как известно, часть своей пищи растения берут из почвы: разные нужные им вещества растворяются в воде, в этом растворенном состоянии всасываются корнями и движутся в виде соков вверх по стеблю или стволу к листьям. Солнечные лучи, нагревая растение, заставляют заключенную в нем воду испаряться, так что благодаря солнечному теплу отработавшая влага уходит в воздух, освобождая место для новых соков. Далее солнце помогает растению дышать. Дело в том, что одну из самых важных составных частей растения — углерод — оно берет из воздуха; в воздухе углерод находится в виде углекислого газа, соединения углерода с кислородом. Так вот, зеленые части растения умеют разъединять составные части углекислого газа, возвращая кислород воздуху, а углерод оставляя себе; но даром это не делается: для разложения углекислого газа надо затратить некоторую работу. Эту возможность растениям дают опять-таки солнечные лучи.

О дровах и говорить нечего: деревья, как и всякие растения, своим существованием целиком обязаны солнцу; и когда у нас топится печь, то тепло от нее есть не что иное, как частичка солнечного тепла, которую сумели уловить и удержать для нас немые жители лесов — деревья. Ну, а каменный уголь, который приводит в движение все наши заводы, паровозы, пароходы? Он-то

по крайней мере добывается из земли и к солнцу как будто никакого отношения не имеет? Но это может подумать лиш тот, кто не знает, что такое каменный уголь. Каменный уголь не всегда был безжизненным, мертвым камнем. Когда-то, очень давно — много миллионов лет прошло уже с тех пор — и он жил. но если бы нам тогда показали его, мы в нем не признали бы этот черный грязный уголь: мы увидели бы громадные заросли и леса удивительных, нам теперь незнакомых растений; эти растения. как и теперешние, росли по милости солнца; солнечные лучи подарили им тогда углерод, дав листьям растений энергию, нужную для разложения углекислого газа. Неизмеримо долгое время росли эти леса; одни поколения растений умирали и гнили, уступая место другим; остатки гниющих растений скоплялись в разных местах. чаще всего они уносились водою и попадали на дно болота, озера или моря; там сначала, повидимому, из них образовывался торф, а с течением времени эти залежи покрывались разными наносами, попадали глубоко под землю, где спрессовывались и подвергались действию внутриземного тепла, вследствие чего более летучие составные части окончательно выделялись, и оставался лишь углерод с небольшим количеством других веществ, — получался каменный уголь. Таким образом тепло, заключенное в каменном угле, тоже дано солнцем: земля лишь спрятала и сохранила неприкосновенным через тысячи тысячелетий этот запас, которым мы теперь расточительно пользуемся. Таким образом паровоз, мчащий нас с головокружительной быстротой из одного конца земли в другой, приводится в движение солнечными лучами; только возраст этих лучей очень древний: не теперь и не во времена фараонов они падали на землю. Падали они еще тогда. когда еще не существовало человека, не было знакомых нам зверей и птиц, когда вся суша представляла собой сплошную пустыню, и лишь по берегам морей и озер росли странные растения, похожие на наши папоротники, заросли которых не оглашались другими звуками, кроме прибоя волн и шелеста ветра. И теперь эти давно угасшие лучи как бы воскресают в огне горящего каменного угля, чтобы работать для нас; как будто для нас светят два солнца: одно, которое с вышины небосвода нам светит и греет ежедневно. и другое - посылающее нам свои лучи через даль веков.

Смена времен года, разница в климатах разных стран, изменения погоды — ветер, дождь, течение рек и волны морские, — все это обязано своим происхождением солнцу. Солнце неодинаково

нагревает разные места на земле. на экваторе лучи его падают отвесно и сильно греют, а в полярных странах — косые его лучи дают лишь мало тепла; отсюда — разница в климате: в одном месте — жарко, в другом — холодно. По той же причине происходит разница между летним теплом и зимними морозами, дневным зноем и ночной прохладой. От разницы в нагревании отдельных мест па земной поверхности происходит ветер; причина его образования — та же, что и тяги в печке или сквозняка в комнате: если рядом находится холодный и теплый воздух, то он приходит в движение. и образуется воздушное течение — ветер. Дождь, это — возвращающаяся к земле вода, которая ранее испарилась и поднялась ввысь под действием солнечных лучей; дождь же дает начало рекам и т. д. Вообще какое бы явление земной поверхности мы ни рассмотрели. — почти всегда виновником его является солнце; лишь небольшое количество явлений составляет исключение, как вулканические извержения и землетрясения, представляющие чисто земные силы. и лунные приливы и отливы; кроме перечисленных, других крупных явлений, происходящих не от солнца, указать, пожалуй, нельзя.

При таком исключительном значении солнечного тепла для всей жизни на земле вполне понятно. что ученые много труда потратили на то, чтобы измерить это тепло и учесть, как оно в дальнейшем на земной поверхности расходуется и распределяется. Измерять тепло. как и другие величины — длину, объем, вес, — можно, исходя из таких соображений: чем сильнее нагрето тело, или чем больше оно по величине, тем больше в нем содержится тепла. Единицей тепла является калория: это — количество тепла которое может нагреть 1 грамм воды на 1 градус Цельсия; если нам надо нагреть 15 граммов воды на 1^0, потребуется, очевидно, 15 калорий; а чтобы нагреть 10 граммов воды на 20^0. надо 10.20=200 калорий. Так вот, измерить солнечное тепло — значит определить, сколько калорий дает солнце на определенную площадь (напр. 1 *см*^{2}) в течение определенного времени (напр. минуты). Для этого выставляют хотя бы сосуд с водой на некоторое время под солнечные лучи и определяют при помощи термометра, на сколько градусов вода нагрелась; напр., если в нашем сосуде было 200 граммов воды. и в течение 12 минут она нагрелась на 3^0, то всего очевидно, вода получила 200.3=600 калорий или 600 : 12=50 калорий в одну минуту. Если поверхность сосуда была 50 *см*^{2}, то на один квадратный сантиметр в течение одной минуты приходилось по одной

калории. Это и будет количество тепла, даваемого солнцем, или сила солнечного лучеиспускания. На самом деле, однако, дело обстоит не так просто; дело в том, что, во-первых, покуда солнце греет наш сосуд с водой, он одновременно охлаждается, так как его обвевает более холодный воздух. Эту потерю тепла можно учесть, каким образом это можно сделать, об этом рассказывать было бы слишком долго; для примера скажем, что во время описанного нами измерения потеря тепла вследствие охлаждения составляла 150 калорий, следовательно солнце, кроме 600 калорий, дало еще 150, или на $^1/_4$ больше, и истинная сила солнечного лучеиспускания будет, следовательно, $1^1/_4$ калорий на *см*² в минуту. Другое затруднение — гораздо более существенное. Ведь солнечные лучи, так сказать, не в целом виде доходят до нас: по пути они встречают нашу атмосферу и часть своего тепла отдают ей,— атмосфера поглощает некоторую долю солнечных лучей. Это бы не беда, если бы поглощение атмосферы всегда было одинаково, но в том-то и дело, что воздух не всегда бывает одинаково прозрачен; иногда, в ясную погоду, когда он чист, до земной поверхности доходит значительная доля солнечных лучей, а когда в нем много паров или пыли, лучей доходит меньше; облака пропускают лишь совсем незначительную долю лучей солнца. Также неодинаковое количество тепла доходит до нас в зависимости от положения солнца на небе: когда оно высоко, проходит много его лучей; но когда оно низко, то косые его лучи, прежде чем дойти до нас, принуждены пройти длинный путь в земной атмосфере, теряя при этом значительную часть своего тепла. Все эти обстоятельства приходится принимать во внимание тому, кто принялся за измерение тепла солнечных лучей. И для этого уже оказалось недостаточно такого простого прибора, о котором мы говорили выше, где количество тепла просто определяется по нагреванию воды (или какого-либо иного предмета): пришлось при помощи особых приборов, существенной принадлежностью которых опять-таки оказался неизменный спектроскоп, заняться определением не только общего количества тепла, даваемого солнцем, но в отдельности количества тепла, даваемого разными цветами, или частями спектра, и не только видимыми, но также и невидимыми. В белом свете — солнечном или каком-либо другом — существуют не только те лучи — красные, синие и т. д., — которые мы видим, есть еще лучи невидимые. Одни, находящиеся в спектре за красными лучами — «краснее красных», — обнаруживаются лишь по своей способности нагревать, так что, напр., ощущать рукой их

можно, но видеть нельзя; называются они инфракрасными; иногда их еще называют тепловыми, но это название не имеет смысла, так как все лучи — видимые и невидимые — в равной степени обладают способностью греть те предметы, на которые они падают. Другие, тоже невидимые, находящиеся за фиолетовым концом спектра и называемые ультрафиолетовыми, могут быть обнаружены, кроме теплового действия, еще благодаря своему действию на фотографическую пластинку. Глаз их не видит, зато «видит» пластинка и, запечатлевая, передает глазу; поэтому их еще не совсем точно называют фотографическими. Кроме ультрафиолетовых, действуют на фотографическую пластинку также и видимые лучи. Так вот, для определения истинного количества тепла, испускаемого солнцем, пришлось определить, сколько тепла приносит в отдельности каждый род видимых и невидимых лучей, или, как еще говорят, пришлось найти распределение энергии в солнечном спектре; изучение распределения энергии в спектре дает, кроме того, способ определения температуры солнца.

Истинной величиной солнечного лучеиспускания будет, очевидно, то количество тепла, которое солнце давало бы нам, если бы по пути не было атмосферы, так что лучи доходили бы до нас нетронутыми; величина эта называется солнечной постоянной. Если бы мы могли подняться на несколько сот километров над земной поверхностью — туда, где нет воздуха, — то там мы действительно получали бы столько тепла; до земной же поверхности всегда доходит меньше.

В результате многолетних исследований, произведенных американцами Абботом и Фаулем, оказалось, что солнечная постоянная очень мало отличается от следующего числа: 2 малых калории на 1 квадратный сантиметр в течение 1 минуты. До земной поверхности в среднем не доходит и половины этого количества; остальная часть задерживается по пути воздухом и облаками; даже в ясный день, когда нет облаков, доходит не более 70 %.

Итак, мы узнали величину того дара, которым солнце наделяет землю; посмотрим же, как этот дар расходуется. Большая часть тепла, получаемого землею от солнца, идет на нагревание земной поверхности; земля, подобно солнцу и всякому другому нагретому телу, испускает лучи, только лучи невидимые (инфракрасные); она, таким образом, теряет свое тепло в пространство и должна была бы непрерывно охлаждаться, если бы потеря тепла ниоткуда не возмещалась; так вот, солнце и возвращает нам то тепло, которое

теряется, и поддерживает таким образом температуру на земной поверхности на определенной высоте; именно средняя температура на земле равна 15° Цельсия. Если бы количество испускаемого солнцем тепла изменилось, то изменилась бы и температура на земле; именно можно вычислить, что если бы солнечная постоянная увеличилась на 10%, то у нас должно было бы стать теплее на 7°, и наоборот. Так что, если бы солнце стало нам давать всего лишь на 30% больше тепла, то в Москве стало бы так жарко, как сейчас в Африке, а на полюсе температура поднялась бы выше нуля, и вечные льды там растаяли бы.

Однако самое название «солнечная постоянная» показывает, что количество тепла, получаемое нами от солнца, очень мало меняется, иначе эту величину не назвали бы «постоянной», так что те климаты, какие сейчас существует на земле, особенно сильным изменениям, зависящим от солнца, не подвержены.

Большая часть солнечного тепла уходит, таким образом, снова в пространство; однако мы знаем, что растения обладают свойством накоплять солнечную теплоту, так что часть тепла, падающего на землю, должна сберегаться; часть эта, правда, очень невелика: обыкновенный лес удерживает в своих стволах и ветвях лишь около одной тысячной доли того, что дает ему солнце, остальное идет на испарение и нагревание; как велико должно быть могущество солнечного тепла, если даже этой ничтожной его крупинки достаточно для того, чтобы растить громадные лесные дебри. Также и каменный уголь, без которого теперь людям так же трудно обойтись, как без хлеба, который приводит в движение все машины — основу могущества человека, — этот уголь — лишь ничтожные крохи от того богатства, которое солнце когда-то излило на землю; если бы в прошлом существовали благоприятные условия для роста растений и образования угля, то за время существования земли солнечного тепла хватило бы на то, чтобы накопить количество угля, равное по величине всему земному шару! Это, конечно, невозможно, потому что такого количества углерода нет на земле, и энергия солнца не может найти себе полного применения и почти целиком растрачивается, так сказать, даром. Задача техники в будущем—воспользоваться этим теплом и заставить его работать на человека; для этого будут, может быть, устроены машины. в которых паровой котел будет согреваться не огнем, а лучами солнца, направленными на него от многих зеркал; в солнечных странах земли, — а такие места преимущественно пустыни, — появятся громадные фабрики,

в которых не будет труб, не будет дыма, которые будут приводиться в движение одними солнечными лучами. Сейчас в этом еще нет необходимости, потому что топить каменным углем обходится дешевле; но дело в том, что каменного угля в земле не бесконечное количество, хватит его, может быть, всего лишь на несколько сот лет, а лесов хватит еще на гораздо меньшее время, и если к тому времени не будет найдено что-нибудь другое, то людям неминуемо придется обратиться непосредственно за помощью к солнцу, если они не захотят погибнуть.

В предыдущих главах мы неоднократно упоминали о температуре солнца, но не объяснили, каким способом удалось измерить температуру такого далекого тела; ведь это не такая простая вещь, как при помощи термометра измерить температуру в стакане воды. До солнца нашим термометром не достанешь, да, кроме того, никакой термометр не мог бы выдержать такого жара, который господствует на солнце. На помощь исследователю здесь опять приходит световой луч; раскрыв столько тайн, он не отказывается нам поведать и эту. Те измерения количества тепла, приносимого нам солнечными лучами, о которых мы только что говорили, они-то и дают нам возможность сделать по отношению к солнцу то, что на земле мы легко выполняем при помощи термометра. Величина солнечной постоянной, найденная исследователями, — 2 калории на 1 *см*^{2} в минуту, — уже говорит нам, как велика температура на солнце; надо уметь только расшифровать (прочесть) эту депешу. Делается это на основании следующих соображений. Когда какое-либо тело нагрето, оно начинает испускать лучи и излучать тепло; притом, чем выше его температура, тем больше количество излучаемого тепла; из опытов и рассуждений нашли закон, по которому изменяется это количество тепла в зависимости от температуры; на основании закона всегда можно вычислить, сколько тепла должно излучать тело при любой температуре, и, наоборот, зная количество излучаемого тепла, можно определить температуру тела. Так вот, оказывается, что для того, чтобы давать земле на расстоянии в 150 миллионов километров по 2 калории в минуту на каждый квадратный сантиметр, надо, чтобы температура поверхности солнца равнялась приблизительно 6 100°[1]. Это цифра только приблизительная потому, что, как мы ранее уже узнали,

[1] Это так называемая абсолютная температура, считаемая от абсолютного нуля, т. е. от —273° Ц. Средняя температура поверхности солнца по Цельсию равна круглым числом 5 800°.

солнце не имеет определенной поверхности, а состоит из разных слоев, постепенно переходящих один в другой; температура эта относится к тому слою, который преимущественно испускает свет,— к фотосфере. Более высокие слои, несомненно, холоднее; вглубь же температура должна возрастать, при чем на основании некоторых соображений надо допустить, что в центре солнца господствует такой страшный жар, сравнительно с которым температура на поверхности солнца такая же низкая, как эта последняя сравнительно с обыкновенной температурой на земле.

Те же самые измерения солнечного тепла дают еще другой, независимый способ измерения температуры поверхности солнца. Для точного измерения солнечной постоянной пришлось исследовать распределение энергии в спектре солнца, т.-е. пришлось измерить, сколько тепла дают в отдельности лучи разных цветов, а также лучи невидимые; оказалось, что невидимые — инфракрасные лучи дают сравнительно мало тепла, красные — больше, желтые — еще больше, зеленые — больше всех, а голубые, синие и фиолетовые — опять все меньше и меньше. Оказывается, что такое распределение тепловой энергии в спектре зависит от температуры излучающего тела; не всегда зеленые лучи дают больше всего тепла; например, у раскаленной плиты все тепло дают невидимые инфракрасные лучи, у обыкновенного пламени тоже наибольшее количество тепла приходится на инфракрасные: это потому, что температура сравнительно низкая; но чем выше температура, тем все больше тепла дают видимые лучи, при чем сначала главную роль играют лучи красные, затем оранжевые и т. д. до фиолетовых, — в таком порядке, как эти цвета находятся в спектре; по цвету самых сильных (в отношении тепла) лучей можно вычислить температуру; так, напр., при 4 000° больше всего тепла дают лучи красные, при 8 000° — фиолетовые. Для солнца таким способом нашли температуру в 6 250°; разницу в 150° сравнительно с первым числом (6 100) надо считать маленькой, так как надо помнить, что все такие измерения не точны, а, кроме того, самая температура на солнце не одинакова в разных слоях; при чем разница там гораздо значительнее, чем между этими двумя числами; так что согласие здесь вполне удовлетворительное, и мы можем считать, что температура светящегося слоя солнца — фотосферы известна нам с достаточной точностью: она немногим выше 6 000°.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

КОЛЕБАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Мы выше упомянули о том, что действительное количество излучаемого солнцем тепла изменяется очень мало с течением времени, благодаря чему и температура на земле из года в год разнится сравнительно немного; из-за неточности измерений, главным образом из-за поглощающих свойств нашей атмосферы, долгое время не имели возможности подметить какие-либо изменения в излучении солнца, если бы даже таковые происходили; поэтому просто считали, что количество этого излучения не меняется, и дали ему даже соответствующее название: «солнечная постоянная». Однако в последнее время, благодаря более точным способам исследования, американские астрономы обнаружили небольшие изменения в этой «постоянной»; так как главным препятствием для подобных исследований является непостоянство погоды, вследствие чего нельзя быть вполне уверенным в причине изменения солнечного излучения, — ибо неизвестно, изменилось ли оно на самом деле, или же изменилась прозрачность нашей атмосферы, — то упомянутые выше астрономы Аббот и Фауль устроили ряд станций в разных местах земного шара, в Америке, в Африке, где наблюдения производились одновременно; оказалось, что в таких отдаленных друг от друга пунктах, как Калифорния и Алжир, или Калифорния и Чили, наблюдались одновременные повышения или понижения количества солнечного тепла; совпадения эти уже не могли быть случайными, зависящими от погоды, и пришлось признать, что изменения эти имеют причину в самом солнце; они имеют характер, во-первых, небольших колебаний, протекающих в течение немногих дней; но сверх того оказалось, что большую роль здесь играют солнечные пятна; именно, чем больше пятен на солнце, тем больше тепла оно нам дает, и, наоборот, когда мало пятен, то и тепла меньше. Эта зависимость солнечного излучения

от пятен была еще ранее открыта русским исследователем Савельевым. Выходит, что пятна представляют для нас интерес не только как замечательное явление на поверхности солнца; они, оказывается, связаны с таким важным для земли явлением, как изменение количества солнечной теплоты.

Нам уже приходилось говорить о том, что солнечные пятна — явление не постоянное; они неожиданно появляются где-нибудь и столь же неожиданно исчезают; поэтому и количество пятен на солнце подвержено изменениям: то их много, то мало, иногда и совсем нет. Долголетние наблюдения, — продолжаются они уж более 300 лет, — обнаружили, что изменение количества пятен происходит по определенному закону: именно бывают годы, когда пятен на солнце особенно много, когда количество пятен достигает максимума (максимум — наибольшее число); такими годами были, например, 1905 и 1917. В течение нескольких лет количество пятен постепенно уменьшается, пока их не станет совсем мало, это — минимум (наименьшее число) пятен; последний раз минимум был в 1913 году; после минимума вдруг количество это начинает быстро увеличиваться, и в 3—5 лет снова достигает большой величины; таким образом годы, богатые пятнами, чередуются с годами, бедными ими. Такое свойство, когда усиление какого-либо явления сменяется ослаблением, а затем опять усилением и т. д., при чем это повторяется без перерывов, называется периодичностью, а явление само называется периодическим; время, в течение которого происходит полная смена явлений, называется периодом. Таким образом число солнечных пятен — явление периодическое. Для примера и сравнения можно указать следующие всем знакомые периодические явления: смена дня и ночи — период равен 24 часам; смена времен года — период один год. В обоих случаях период строго постоянный, — сутки всегда продолжаются одинаковое время, один год всегда равен по продолжительности другому; не так обстоит дело с солнечными пятнами: там промежуток времени, протекающий от одного максимума пятен до другого, бывает различный, колеблясь в пределах от 7 до 16 лет, хотя чаще колебания не так велики — от 9 до 13 лет, так что, как говорят, период солнечных пятен неправильный (непостоянный). Средняя величина этого промежутка равна 11 годам, это — средний период солнечных пятен, называемый также периодом солнечной деятельности.

Итак, приблизительно через каждые одиннадцать лет на солнце появляется особенно много пятен, и оно, как говорят, начинает

проявлять усиленную деятельность. Эта деятельность не ограничивается только пятнами: многие другие явления на солнце меняются вместе с количеством пятен, например, количество протуберанцев меняется в общем одновременно с изменением количества пятен, хотя максимум протуберанцев может и не совсем совпадать с максимумом пятен. Равным образом меняется и вид солнечной короны: сравните рис. 18 и 17; первый снимок сделан в 1900 году — в год минимума солнечной деятельности; здесь корона вытянута в длину, образуя два «крыла» вдоль по экватору солнца и ряд тонких лучей у полюсов; второй снимок относится к 1905 году — году максимума пятен: мы видим ряд длинных лучей, сравнительно равномерно окружающих солнце как на экваторе, так и на полюсах; экваториальные «крылья» не выделяются. Такая разница между видом короны в зависимости от наличности пятен на солнце наблюдалась неоднократно, и обоим типам короны дали даже соответствующие названия: рис. 18, это — «корона минимума», рис. 17 — «корона максимума».

По наблюдениям солнечной обсерватории в Америке замечательным колебаниям подвержен магнетизм пятен в зависимости от общего колебания солнечной деятельности. Обычно пятна в одном полушарии обнаруживают один и тот же, напр. северный магнетизм, в другом полушарии — южный; однако после минимума солнечной деятельности меняется знак магнетизма в данном полушарии: если до минимума магнетизм был северным, то появляющиеся после минимума новые пятна обнаруживают уже южный магнетизм, и наоборот. Магнетизм пятен приобретает прежний знак лишь по прошествии двойного периода, т.-е. в среднем приблизительно через 22 года. Поэтому истинным периодом солнечной деятельности следовало бы считать 22 года вместо 11 лет.

Мы уже говорили, что с изменением количества пятен меняется количество тепла, излучаемого солнцем. С первого взгляда это кажется вполне понятным: ведь пятна — темные, более холодные места, и когда они на солнце, то оно должно как бы потускнеть и давать меньше тепла; но в том-то и дело, что наблюдения показали как раз обратное явление: чем больше на солнце пятен, тем больше тепла оно нам дает, так что дело тут не так просто, как сначало может показаться. Приходится допустить, что пятна хотя и отнимают некоторую часть тепла, но зато остальная поверхность солнца начинает в это время излучать сильнее и притом в такой степени, что маленькая потеря, происходящая из-за

пятен, покрывается с избытком. Кроме того, если немного подсчитать, то окажется, что пятна вообще не могут сами по себе повлиять сколько-нибудь заметным образом на количество излучаемого тепла; действительно, сравнительно с размерами солнца пятна занимают ничтожную площадь; даже в годы, наиболее обильные пятнами, они занимают не более $^{1}/_{500}$ части поверхности солнца; если бы пятна были совершенно темные, то на такую величину они бы и убавили излучение солнца. на самом же деле пятна все-таки тоже излучают тепло, — приблизительно половину того, что излучает остальная поверхность солнца; поэтому пятна могут отнять не более $^{1}/_{1\,000}$ части солнечного тепла, или десятую долю процента; такое незначительное уменьшение в настоящее время невозможно было бы заметить. Зато, как мы сказали, с появлением пятен солнце начинает греть сильнее, — увеличение излучения может достигать 4%. Это уже очень заметная величина, и если бы погода на земле в смысле облачности и влажности не менялась, то температура должна была бы подняться градуса на 3; однако многочисленные наблюдения над земной погодой такого сильного увеличения температуры не могли обнаружить; оказывается, что средняя температура всей земли в целом колеблется очень мало, всего лишь на несколько десятых долей градуса; объяснить это можно тем, что в годы усиленной деятельности солнца погода на земле, повидимому. становится более облачной и туманной, а облака и туман не пропускают тепло до земной поверхности, так что хотя тепла солнце и дает больше, но зато меньший процент этого тепла доходит до нас. Здесь мы уже сталкиваемся с влиянием деятельности солнца на земную жизнь; из за незначительного сравнительно изменения в излучении тепла это явление все-таки для нас оказывается мало заметно; зато есть много других явлений на земле, обнаруживающих самую тесную связь с появлением пятен на солнце. Во-первых, оказывается, что магнитная стрелка «неравнодушна» к ним; во-вторых, северные сияния обнаруживают прямую связь с солнечными пятнами. а кроме того существует целый ряд других явлений, где подозревается в большей или меньшей степени влияние солнечной деятельности.

Магнитная стрелка, как известно, показывает приблизительно на север, точнее — в сторону магнитного полюса земли, который помещается близ северных берегов Америки. Оказывается, что направление ее не постоянно: именно в течение суток она слегка колеблется, отклоняясь то к западу, то к востоку от своего сред-

него положения; очевидно, что, подобно смене света и тьмы, тепла и холода в течение суток и это колебание магнитной стрелки обязано своим происхождением действию солнца. Это подтверждается тем, что размах колебаний летом значительно больше, чем зимою, когда косые лучи солнца могут оказать лишь слабое действие. Но, мало того, оказывается, что этот размах суточных колебаний изменяется почти в точности, как число пятен на солнце: когда растет число пятен, увеличивается и размах, и наоборот; совпадение при этом обнаруживается поразительное. Мы знаем, что в некоторые годы, которые следуют один за другим, в среднем через каждые одиннадцать лет, количество пятен на солнце достигает своей наибольшей величины; совершенно в те же самые годы и размах колебаний стрелки становится наибольшим; так что суточные колебания магнитной стрелки на земле строго следуют за изменениями солнечной деятельности.

Кроме таких правильных и сравнительно небольших, едва заметных для глаза колебаний, бывает иногда, что магнитная стрелка вдруг начинает сильно изменять свое направление, отклоняясь на заметную величину то в одну то в другую сторону; такое явление называется «магнитной бурей»; в полярных странах сопровождается она северными сияниями, так что северное сияние и магнитная буря, это — разные стороны одного и того же явления. Так вот, наблюдения показали, что магнитные бури и северные сияния как раз совпадают с появлением особенно крупных пятен близ середины солнечного диска. При изучении колебаний магнитной стрелки, а также северных сияний все указывает на то, что здесь мы имеем дело с непосредственным влиянием самих пятен, тогда как изменение излучаемого тепла, как мы говорили, происходит от изменения свойств всей поверхности солнца. Каким именно образом пятна могут влиять на таком расстоянии на землю, — вопрос пока не выясненный; можно лишь делать разные предположения на этот счет. Если вспомнить, что в пятнах обнаружен магнетизм, то кому-нибудь может показаться, что здесь объяснение простое: солнечное пятно — магнит, и когда оно поворачивается к нам, то притягивает и заставляет наклоняться нашу магнитную стрелку, как и всякий земной магнит или даже простой кусок железа. Но это не так: притяжение магнита очень быстро убывает с удалением от него, так быстро, что для того, чтобы вызвать магнитную бурю, солнечные пятна должны были бы быть по крайней мере в 10 миллионов раз сильнее намагничены. чем

на самом деле. Таким образом, хотя пятна и являются сильными магнитами, но из-за огромного расстояния сила их уменьшена во много миллионов, чтобы не сказать миллиардов, раз, и, следовательно, они совершенно не могут повлиять на наши магнитные стрелки.

Зато довольно вероятным представляется следующее объяснение: кроме обыкновенных лучей, видимых и невидимых, представляющих собой волнообразные колебания, приносящие нам свет и тепло, солнце с большой скоростью выбрасывает еще потоки маленьких частичек — ионов и электронов, обладающих электрическими свойствами; на земле при опытах с электричеством такие потоки электрических частичек действительно могут быть получены, при чем они обладают, между прочим, свойством заставлять светиться разреженные газы; с помощью их же получаются лучи Рентгена. Так вот, эти ионы и электроны, по предположению, испускаются преимущественно солнечными пятнами, остальная же поверхность солнца дает их очень мало; поэтому, когда на солнце есть пятно, то потоки этих частиц падают на землю. Здесь они, будучи сами носителями электричества, вызывают появление электрических токов, а электрический ток обладает свойством отклонять магнитную стрелку,— вот объяснение колебаний этой последней. А, кроме того, они заставляют светиться разреженные газы верхних слоев нашей атмосферы, — получается северное сияние; в земных опытах удавалось даже получать искусственное сияние вокруг полюсов намагниченного шара. Каков бы ни был тот путь, каким солнечные пятна влияют на магнитные явления на земле, само влияние не может быть никем оспариваемо; таким образом магнитная стрелка проявляет необычайную чувствительность к столь малым сравнительно с солнцем предметам, как пятна. Для того чтобы увидеть их, мы должны направить на солнце подзорную трубу, увеличивающую во много раз, при чем необходимо еще, чтобы была ясная погода; магнитная же стрелка одинаково отзывается на их появление, какая бы ни была погода — ясная или пасмурная, и где бы ее ни поместить — на открытом ли воздухе или в самом темном подвале.

Несомненно, что изменение солнечной деятельности должно влиять на многие другие явления земной жизни,— на погоду, урожайность и т. д. Исследования, произведенные за последние годы, показали, что средняя годовая температура на земле зависит от числа солнечных пятен В течение 11 лет она то немного повы-

шается, то немного понижается. Такие изменения безусловно должны сказываться и на других элементах погоды. Однако из-за сложности этих явлений до сих пор достаточно определенных результатов еще не получено.

Здесь мы ограничились лишь отдельными примерами влияния деятельности солнца на земные явления. Так как все, что движется и живет на земной поверхности черпает энергию от солнца, то несомненно, что это влияние должно сказываться так или иначе на всех сторонах земной жизни; до сих пор, однако, вопрос этот еще слишком малоразработан, и, наверно, много интересного будет когда-нибудь открыто в этой области.

Итак, здесь мы узнали, что солнце подвержено изменениям, повторяющимся периодически, через промежутки времени, близкие к 11 годам; меняется и количество пятен, и излучаемое тепло, и вид короны; спрашивается: не происходят ли с солнцем другие, более продолжительные и значительные изменения, или, иначе говоря, всегда ли наше светило было таким, как сейчас? Промежуток времени, в течение которого астрономами ведутся всесторонние наблюдения, слишком короток, чтобы ответить на этот вопрос. Зато есть другая наука, которая может пролить хоть слабый свет в этом деле, наука эта — геология; занимается она изучением строения земной коры и на основании этого строения составляет историю земли; как это делается, — подробно рассказать здесь невозможно. Достаточно сказать, что прошлая жизнь на земной поверхности узнается по виду горных пород или наносных пластов и по окаменелым остаткам животных и растений, находимых в этих пластах. То, что мы раньше говорили о происхождении каменного угля, — есть пример тех сведений о прошлых временах, какие дала нам геология.

Что же она может нам рассказать о солнце? Конечно, по грубым остаткам прежней жизни, находимым в земле, нельзя надеяться узнать много; в лучшем случае можно надеяться получить понятие о самой важной стороне солнечной деятельности — о солнечном тепле.

История земли говорит, что живые существа — животные и растения — уже очень давно обитают на земле. Сколько времени прошло с появления первого существа, трудно определить; но самые скромные подсчеты говорят, что это время должно быть не меньше ста миллионов лет, вернее всего — от 200 до 400 миллионов; как видите, числа эти сильно разнятся, но для нас это не столь важно; самое главное — запомним, что тут не века или тысячелетия, а сотни миллионов лет. А раньше, повидимому, вследствие

каких-то причин — грело ли солнце сильнее, или сама земля была горячее, — но температура на земле была очень высокая, такая, что жизнь была невозможна. Жизнь могла начать развиваться при температуре не выше 50⁰; первые животные были жителями моря. В настоящее время самое холодное море — полярное, температура его около 0⁰ (немного ниже), при чем дно океанов имеет приблизительно такую же температуру. В то время когда появились первые признаки жизни, температура эта не могла превышать 50⁰, так что земная поверхность тогда должна была быть не более чем на 50⁰ теплее теперешнего; вычисления показывают, что для этого солнце должно было давать процентов на 80 больше тепла; взяв для круглого счета 100 %, можно утверждать следующее: с самого зарождения земной жизни в течение сотен миллионов лет количество излучаемого солнцем тепла не могло более чем в два раза превышать то количество, какое оно излучает сейчас; это — самое крайнее число; на самом же деле, как увидим, излучение солнца хотя и бывало больше, чем теперь, но лишь немногим: до двойного количества оно не доходило.

Геологические исследования могут дать приблизительное понятие о климате, господствовавшем в прежние времена на земле. Известно, что есть животные и растения жарких стран, которые не переносят холода, и, наоборот, полярным странам свойственна своя особая жизнь. Так вот, по составу животного и растительного населения в прежние времена можно приблизительно судить о том, каков тогда был климат. Холодный климат можно узнать еще по такому признаку; в полярных странах и на высоких горах, где холодно, собирается лед; лед по мере накопления начинает ползти под гору, — получается ледник; ползущий лед оставляет свои следы на камнях, — он их шлифует и оставляет также особые царапины, так что по виду камней, находимых в земле, можно иногда узнать о существовании ледников в прошлом.

Все эти признаки говорят нам о том, что климат земли не всегда был такой, как сейчас, а менялся с течением времени. Здесь мы будем говорить только о таких изменениях, которые касаются всей земли; кроме таких крупных изменений, когда на всей земле становилось теплее или холоднее, в отдельных местах земной поверхности происходили свои особые изменения, но эти местные колебания климата нас здесь занимать не будут.

Для общих изменений температуры на земле можно придумать разные причины. Напр., для того, чтобы объяснить более теплый

климат, предполагали прежде, что земная кора была тоньше, так что жар, господствующий теперь во внутренних частях земли, подогревал ее поверхность, подобно пламени плиты; однако это предположение совершенно невероятно: вычисления показывают, что для того, чтобы внутренний жар земли мог давать лишь десять процентов солнечного тепла, надо, чтобы температура возрастала страшно быстро вглубь земли — на 6^0 на каждый метр, так что кора земная не могла тогда превышать $^1/_4$—$^1/_2$ километра в толщину, ибо на такой глубине уже все каменные породы должны были бы расплавиться от сильного жара; но такая тонкая кора в те времена, о которых идет речь, совершенно невозможна, так как тогда от речных и морских наносов успели образоваться слои во много верст толщиной,— а откуда могли бы взяться они, если бы сама земная кора была во много раз тоньше? Кроме того, столь тонкая кора не могла бы быть прочной — она постоянно прорывалась бы изнутри вулканическими силами, и никакая жизнь на поверхности земли не была бы возможна. Мы не будем приводить ряда других объяснений; некоторые из них представляются довольно вероятными; укажем лишь на самое вероятное и простое из них, это — изменение солнечного излучения. Действительно, мы знаем, что в настоящее время солнце — единственный источник тепла, и от того количества тепла, какое оно дает, зависит и температура земли; естественнее всего предположить, что, когда температура на земле повышалась или понижалась, это происходило от того, что само солнце временами светило то ярче, то тусклее; в дальнейшем мы так и будем считать, и тогда изменения климата, обнаруженные наукой о прошлом земли, будут вместе с тем указывать нам на изменения солнечного излучения и, между прочим, и солнечной температуры. Итак, в земле, в ее камнях, мы находим запись того, какое горячее было солнце миллионы лет тому назад! Наш чудесный термометр, построенный из рассуждений, которым мы ранее измерили температуру солнца не касаясь его, несмотря на полтораста миллионов километров, отделяющие нас от него, этот термометр хватает, оказывается, не только в даль пространства, но и в глубину давно минувших веков.

Теперь посмотрим, что нам известно о колебаниях климата в прошлом. Вся история земной жизни подразделяется на три больших, но неравных части, или эры: первая — древнейшая и самая длинная; в течение нее жизнь развивалась, главным образом в море: тогда обитателями океанов были разные моллюски (рако-

вины), трилобиты — существа, родственные нашим мокрицам и ракам, и появились первые рыбы; сухопутных растений не было, и материки представляли собой каменистую пустыню, растения существовали лишь по берегам вод и были похожи на наши хвощи и папоротники, но достигали иногда огромных размеров — с наши деревья; одна из частей этой эры носит название каменноугольного периода, потому что значительная часть каменноугольных пластов образовалась в это время. Климат в ту первую эру был в общем теплее нашего, хотя был подвержен значительным колебаниям; как в начале, так и в конце этой эры обнаружены следы льда даже в теплых странах, где теперь находятся Африка, Индия, Австралия, что указывает на то, что временами происходило охлаждение в другие же периоды этой эры, повидимому, становилось очень тепло, в особенности около середины первой половины ее, когда вся земля была, может быть, градусов на 20 теплее теперешнего. Приписывая эти изменения тому, что солнце само становилось то жарче то холоднее, приходим к заключению, что за это время общее изменение солнечного тепла не превышало 40 $^0/_0$, а в среднем за всю древнейшую эру количество тепла, даваемого солнцем, очень мало отличалось от современного,—оно было, может быть, процентов на 5 больше.

Во вторую, среднюю, эру начинает населяться суша, пальмы и деревья, похожие на наши, распространяются по земной поверхности, но животный мир был еще совершенно не похож на современный: на суше и в море водились исполинские ящеры и гады, в воздухе летали зубастые птицы. Это время было самым теплым в истории земли, нигде не было признаков льда, даже полюсы были свободны от него. В среднем земля могла получать тогда от солнца процентов на 30 больше тепла, чем теперь.

Третья, позднейшая, эра была вначале такая же теплая, как и вторая; жизнь на суше тогда была похожа на то, что мы теперь наблюдаем в жарких странах; животные, похожие на современные,— лошади, львы, тигры, слоны, антилопы, — вот кто тогда населял наши страны.

Но затем происходит охлаждение; на полюсах земли и на горах появляются вечные снега и льды; громадные ледники спускаются с севера и покрывают большую часть Европы и Северной Америки; где эти ледники двигались, там они катили вместе с собой камни; эти камни-валуны, отшлифованные и округленные действием льда, и сейчас еще лежат везде на наших полях. От холода погибла

или ушла на юг, в более теплые страны, большая часть тех животных и растений, которые густо населяли ранее эти места, вся поверхность нынешней РСФСР вместе с Германией и Англией представляла тогда одну мертвую ледяную пустыню. Это время носит название ледникового периода: происходил он сравнительно недавно, — от конца его отделяет нас, может быть, лишь несколько десятков тысяч лет; в течение него выдвинулся человек. Благодаря своему уму и уменью обращаться с огнем он сумел пережить страшный холод, а трудные обстоятельства заставляли его ум работать и привели к ряду открытий и изобретений, еще более возвысивших его впоследствии.

Чтобы объяснить этот холодный период в жизни земли, достаточно предположить, что солнце в это время давало процентов на 10 меньше тепла, чем теперь.

Начиная от ледникового периода и по настоящее время, климат на земле становился теплее, и, по всей вероятности, росло и солнечное тепло.

Таким образом, если предположить, что те изменения температуры, которые раньше происходили на земле, зависили от изменения солнечного тепла, то мы приходим к следующему заключению: за те сотни миллионов лет, в течение которых существует жизнь на земле, излучение солнца менялось очень мало: временами оно на 30% могло превосходить современную величину, а временами падало процентов на 10 ниже. При этом изменения совершались неправильно, и в самом начале тепло мало отличалось от теперешнего. Если мы примем во внимание, что на самом деле было еще множество других причин, изменявших климат земли, то приходится допустить, что количество солнечного лучеиспускания менялось еще меньше, чем мы предположили. Этот результат, который нам сообщает история земли, — что солнце в течение такого долгого времени непрерывно излучало почти одно и то же количество тепла, — необычайно важен. Является вопрос: откуда солнце берет этот громадный запас энергии, который оно расходует, ничуть при этом не ослабевая? Ведь земные источники тепла надо поддерживать топливом, солнце же ни откуда топлива не получает, если бы солнце целиком состояло из угля и кислорода (необходимого для горения), и уголь бы горел, то это горение могло бы поддержать теплоту солнца лишь 2 000 лет; ясно, что для объяснения солнечного тепла такой слабый источник тепла, как горение, служить не может.

Есть другой, гораздо более могучий источник энергии это сила тяжести. Всякий знает, что если молотом бить по наковальне, то и молот и наковальня нагреваются; таким же образом пуля или снаряд, ударяясь о препятствие. накаляются,— это потому. что движение при остановке обращается в теплоту; чем быстрее движение, тем больше теплоты получается при его остановке. Падающее тело, ударяясь о землю, тоже нагревается; но при тех небольших высотах. с которых обыкновенно падают тела, нам это нагревание незаметно; зато если бы дали какому-либо телу свободно падать с большой высоты, 500 километров например, то при ударе о землю оно нагрелось бы на несколько тысяч градусов. Сила притяжения солнца так велика, что тело, падающее издали на солнце, приобретает скорость в 600 километров в секунду; от прекращения движения с такой скоростью получилось бы столько тепла, что само падающее тело могло бы нагреться на десятки миллионов градусов! Таким образом сила притяжения солнца может рождать тепло. Это может происходить не только так, как мы описали, а еще другим способом. Выше мы упоминали, что при сжатии какого-либо газа происходит нагревание; предположим, что те газы, из которых теперь состоит солнце, занимали когда-то гораздо больший объем, так что солнце было по размерам больше теперешнего; под действием силы собственной тяжести оно постепенно сокращалось, пока не стало таким, как теперь; при этом происходило, очевидно, сжатие, и выделялось тепло. Вычисления показывают, что полученного при этом количества тепла хватило бы лишь на 20 миллионов лет, и при этом излучение солнца должно было бы сильно меняться с течением времени; а между тем солнце, как мы знаем, давало неизменное количество тепла в течение по крайней мере 10 раз большего промежутка времени, так что и этот могучий источник тепла — сжатие самого солнца — ничтожен сравнительно с тем, что расходуется этим светилом, и нам приходится и это объяснение считать непригодным. Это не значит, чтобы сама мысль о постепенном сжатии солнца с течением времени была неверной; наоборот, многое заставляет предполагать, что такое сжатие действительно происходило и происходит; только количество выделяющегося при этом тепла недостаточно для покрытия огромных расходов солнца, и оно десять раз успело бы потухнуть, если бы весь его запас тепла заключался в этом сжатии.

В последнее десятилетие XIX века открыли одно свойство вещества, которое может дать хотя бы отдаленное понятие о том, откуда берется это необычайное количество тепла. Мы говорим о новом элементе — радии. Этот элемент обладает удивительным свойством; его атомы (мельчайшие частицы вещества) постепенно распадаются, выбрасывая, во-первых, массу электрических частичек, ионов, электронов, — это так называемые лучи радия, и, во вторых, обращаясь в другой элемент — гелий. Давно, в средние века, алхимики всячески пытались превращать одни тела в другие, надеясь как-нибудь получить золото, но тщетно; впоследствии уже настоящие научные изыскания показали, что есть такие тела, которые не могут быть обращены ни в какие другие, и такие тела назвали простыми телами, или элементами; в неизменяемость элементов долгое время верили потому, что не было примера, доказывающего противоположное. Но вот открыли радий, и все переменилось: если один элемент может разрушаться и превращаться в другой, то это может происходить и с другими, может быть, со всеми элементами. Разница лишь та, что радий разрушается сравнительно очень быстро, — наполовину он распадается в 2 000 лет, а с другими элементами это может происходить гораздо медленнее, — может быть, миллиарды лет, так что мы этого не замечаем.

Как бы то ни было, при таком распадении вещества выделяется огромное количество тепла, и если предположить, что все вещество солнца постоянно, хоть очень медленно, распадается, то этого источника тепла хватило бы для поддержания солнечного излучения на биллионы лет; при этом можно вычислить, что уменьшение массы солнца от этой причины равно приблизительно $\frac{1}{100\,000}$ в течение 100 миллионов лет — величине ничтожной. Таким образом, если принять это объяснение, то нам станет понятным постоянство солнечного излучения за истекшие миллионы веков: при таком неистощимом источнике тепла солнце сможет еще тысячи таких же промежутков времени светить, не ослабевая.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

СУДЬБА СОЛНЦА

Много тайн окружает солнце, но из них, может быть, самая заманчивая, это — вопрос о его происхождении и дальнейшей судьбе. Каким же образом можно узнать все это? Ведь не только жизнь человеческая, жизнь земли ничтожна сравнительно с теми неизмеримыми промежутками времени, которые предоставлены для деятельности нашего светила; мы уже знаем, что в самом начале земного творения оно было почти такое же, как сейчас,— такое же лучезарное, щедро расточающее свет и тепло, и за этот огромный промежуток времени, так сказать, нисколько не постарело; неужели нам, жизнь которых — лишь миг,— можно проникнуть в тайну его рождения и смерти? А что солнце когда-то родилось и когда-нибудь должно исчезнуть, в этом для нас не может быть сомнения, ибо ничто не продолжается вечно.

Вообразим, что какое-нибудь недолговечное существо, вроде мошки-однодневки, вздумало бы составить себе представление о том, как протекает жизнь человека. Если бы наша мошка стала наблюдать только одного человека, то за короткий срок, предоставленный ей, она узнала бы самое большее, как проводит человек свой день. Но человек ведь не единственный, и, находись наша наблюдательница в каком-либо городе, она даже за свой короткий век могла бы увидеть тысячи разных людей, — старых и молодых, мужчин и женщин, работающих и праздных, больных, умирающих и новорожденных,— и по этому разнообразию могла бы узнать течение человеческой жизни, ибо на каждом человеке она могла бы наблюдать одно из звеньев жизненной цепи — остается лишь сложить вместе эти звенья.

В положении мошки-однодневки находимся мы, желающие узнать течение жизни солнца; и поступить нам придется таким же образом, — нам надо изучить множество солнц и сравнить их

между собою. Но, скажет какой-нибудь недоверчивый, солнце ведь единственное, откуда же нам взять их целое множество? Посмотрите в ясную ночь наверх; каждая из этих тысяч звездочек, ярких и слабых, мерцающих во всех направлениях на небосводе, есть самостоятельное солнце, которое греет и освещает там другие, далекие миры; такими слабыми эти солнца представляются нам лишь потому, что находятся на невообразимо большом расстоянии от нас: в то время как от солнца свет к нам долетает в 8 минут, от ближайшей звезды он приходит в $4\,^1/_2$ года, а от большинства звезд, видимых простым глазом, в десятки и сотни лет; в телескоп же видны еще такие удаленные звезды, от которых этот быстрейший из всех вестников принужден двигаться десятки тысяч лет! Понятно, что на таком расстоянии эти яркие солнца уже не могут ни освещать, ни греть нас, и еле видны; их истинная яркость вовсе не уступает нашему солнцу, даже наоборот: большинство из видимых нами звездочек во много раз ярче его — иные в несколько сот раз. Если бы мы смогли наш земной шар перенести к любому из этих солнц и поместили бы его на расстоянии тех же 150 миллионов километров, то вместо благодетельного тепла губительный жар спалил бы все на его поверхности; для безопасного пользования дарами нового солнца нам пришлось бы поместиться на гораздо более почтительном расстоянии от него.

Впрочем, хотя те звезды, которые мы видим, большею частью ярче нашего солнца, однако на самом деле подавляющее большинство звезд,— они преимущественно невидимы для простого глаза,— вовсе не такие яркие, а чаще они равны или даже слабее солнца; но дело в том, что слабые звезды видны лишь в ближайшем соседстве от нас, где их немного, а яркие видны на далеком расстоянии, так что хотя слабых солнц больше, чем ярких, но видно больше последних.

Итак наше солнце — один из членов многочисленного семейства звезд. Чтобы дать понятие о числе их, можно указать, что звезд, доступных нашему наблюдению, почти столько, сколько людей на земном шаре; конечно, большинство этих звезд может быть обнаружено лишь в самые сильные телескопы, и то лишь при помощи фотографии. Остается сравнить отдельные звезды между собою, определить их возраст в жизненной цепи, и из такого сравнения можно надеяться узнать, как протекает жизнь этих светил, между прочим, и нашего солнца. Конечно, для каждой звезды в отдельности нельзя в точности узнать ход ее жизни, как нельзя безо-

шибочно предсказать судьбу отдельного человека; но как можно описать обычное течение человеческой жизни, так можно представить себе и наивероятнейшее течение жизни звезд и солнца.

Изучение звезд — вопрос не менее сложный, чем изучение солнца, и тут тоже применяются разнообразные способы исследования, среди которых на одном из первых мест стоит спектроскоп, понятно, что здесь нельзя изложить и малой доли того, что теперь известно о звездах. это составило бы целую книгу, и поэтому мы коснемся лишь того, что непосредственно нужно для нашей цели.

Свойства, которыми отдельные звезды отличаются одна от другой. следующие: — I. масса. Оказывается, что по своей массе звезды замечательно мало разнятся между собою и очень близки в этом отношении к солнцу; звезды в 4 раза легче или тяжелее солнца встречаются крайне редко. — II. Зато по размерам разница среди них наблюдается огромная; в этом отношении они распадаются на две категории: звезды *исполинские* и *обыкновенные*. Исполинские — по объему в тысячи раз могут превосходить солнце; масса их приблизительно такая же, как у других звезд, а потому размеры их идут за счет плотности; вещество, из которого они составлены, необычайно редкое — легче воздуха. Таких великанов, однако, в царстве звезд сравнительно мало, хотя благодаря своим размерам они и очень заметны; подавляющее большинство звезд принадлежит ко второй группе — к обыкновенным или *карликовым* звездам; так их называют, чтобы оттенить малые их размеры сравнительно с исполинами. К карликовым звездам относится и солнце, среди них наблюдается также некоторое разнообразие в размерах: довольно часто встречаются еще такие, которые раз в 10—20 больше и раза в 3—5 меньше по объему, чем солнце. — III Как у солнца, так и у звезд удалось определить температуру поверхности; в зависимости от температуры находится цвет звезды: чем холоднее звезда, тем она краснее. чем горячее — тем белее; по температуре и цвету звезды делятся на следующие шесть главных групп или типов: 1) звезды голубовато-белые, самые горячие, температура их — от 14 000 до 18 000 градусов; 2) белые — температура 9 000—14 000°, 3) желтовато-белые, температура — 7 000—9 000°; 4) желтоватые, температура — 5 000—7 000°; к ним относится и солнце, 5) красновато-желтые, температура — 3 500—5 000° и 6) красные, температура — 3 000—3 500°. Эти же типы отличаются и по составу своих атмосфер, который можно определить, как и у солнца, по

виду спектра. У звезд первого типа главные составные части атмосферы — гелий и водород, 2-го — водород; у 3, 4 и 5-го делается заметным все большее и большее количество металлов и кальция: у звезд красных, кроме элементов, обнаружены еще сложные тела — соединения элементов, которые могут существовать благодаря низкой сравнительно температуре [1].

Исполинские звезды бывают преимущественно последних четырех типов, а белыми и голубовато-белыми они бывают редко; это значит, что поверхность их обыкновенно сравнительно холодная. Чаще всего встречаются исполины желтые. Карликовые звезды бывают всех типов, но число их тем больше, чем они краснее и чем ниже температура.

IV. *Истинная яркость* [2],— о ней мы уже говорили выше. Зависит яркость от двух причин: от размеров и температуры; чем больше звезда и чем она горячее, тем, очевидно, она и ярче. Самые яркие звезды. это — исполинские и обыкновенные голубовато-белые. Первые — благодаря огромным размерам, вторые — благодаря высокой температуре, при чем яркость тех и других приблизительно одинакова, превосходя раз в 100—1 000 яркость солнца; у остальных, обыкновенных звезд, начиная от белых и кончая красными, яркость постепенно убывает, при чем последние светят уже примерно в 10—100 раз слабее солнца.

В каком же порядке располагаются все эти звезды по возрасту? Чтобы это решить, рассуждаем так: звезда все время теряет огромное количество своего тепла в пространство; как бы велик ни был источник, снабжающий ее теплом, он постепенно должен истощаться, а звезда — охлаждаться (об источнике тепла звезд можно сказать то же, что мы говорили по поводу солнца в конце предыдущей главы); механика учит, что тогда вследствие потери тепла должно происходить сокращение объема. Раз так, то самые большие звезды — исполинские — и являются самыми молодыми. Обыкновенные же звезды будут постарше, при чем в порядке размеров и возраста они располагаются так же, как и по температуре,—от более молодых, голубовато-белых, до самых старых — красных: солнце, таким обра-

---

[1] По новейшим воззрениям (см. гл. II) разница здесь, собственно, не в составе, а в светимости отдельных элементов; химический состав звездных атмосфер надо, повидимому, считать более или менее одинаковым.

[2] «Истинной» она названа в отличие от кажущейся; вследствие большого расстояния видимая или кажущаяся яркость звезд мала, но истинная яркость — не меньше солнечной.

зом, — звезда «средних лет», и в таком состоянии оно неизменно находится уже сотни миллионов лет, поскольку можно заключить из истории земли; сколько же времени должно было пройти с того момента, когда оно, начав с исполинского красного шара, который размерами достигал, может быть, до самой земли, и который постепенно сокращался и от сокращения накалялся, пока не стал сравнительно небольшой — лишь немногим больше теперешнего, но горячей голубовато-белой звездой, — сколько же времени оно последовательно должно было после этого проходить «возрасты»



Рис. 52. Туманность в созвездии Тельца.

обыкновенной звезды—голубовато-белый и желтовато-белый,—чтобы, наконец, стать таким желтым, каким мы его знаем теперь? И через сколько времени в будущем, в страшно отдаленном будущем, оно должно будет перейти к следующим ступеням более тусклого существования?

Итак, мы пришли к заключению, что первоначально солнце, подобно любой другой звезде, имело исполинские размеры и постепенно сокращалось, так что здесь, в ходе развития звезд. мы имеем прямую противоположность тому, что наблюдается среди

живых существ на земле: они растут со временем, а звезды уменьшаются в размерах.

Можно пойти дальше и задать вопрос: откуда взялась первоначальная исполинская звезда, исполинское солнце? Среди звезд, так сказать, в той же семье, встречаются другого рода тела — туманности. На рис. 52 изображена одна из замечательнейших туманностей, так называемая ракообразная туманность, в созвездии Тельца. Туманности, это — тела, состоящие из чрезвычайно разреженных газов, сравнительно с которыми наш воздух казался бы плотнее, чем свинец сравнительно с воздухом; зато размеры их огромны. Такая туманность, точно исполинское облако, в течение промежутков времени, о которых человеческий ум не может составить себе понятия, носится в пространстве, излучая при этом непрерывно тепло; как мы уже говорили, от потери тепла должно происходить сокращение объема; и вот в отдельных местах туманности, точно дождевые капли в облаке, появляются сгустки, которые потом притягивают и собирают вокруг себя остальное вещество; такое сгущение и есть вновь образовавшаяся молодая звезда: на рис. 52 в многочисленных и беспорядочных извилинах туманного хаоса можно уже предвидеть зачатки будущих миров; в окрестностях туманности и на ней самой видно множество звездочек: большая часть их, по всей вероятности, находится лишь в случайном кажущемся соседстве с туманностью, будучи на самом деле значительно ближе или дальше ее; но возможно, что некоторые из них, в особенности из тех, что видны на самой туманности, действительно произошли путем сгущения туманной материи.

То, что мы выше рассказали про течение жизни звезды-солнца, не нужно считать за нечто непреложное, окончательно доказанное; к такому взгляду на порядок развития звезд пришел сначала на основании своих исследований над спектрами Н. Локьер (о нем мы упоминали уже по поводу наблюдения солнечных протуберанцев); его взгляды продолжил и расширил американский астроном Г. Н Рэссель; теория Рэсселя сейчас признается многими астрономами, но не всеми.

Во-первых, надо признать, что так как звезды могут быть различны по своей массе, составу и т. д., то и течение жизни разных звезд может быть различное; напр. полагают, что звезды с малой массой совсем не могут стать голубовато-белыми или белыми. Во-вторых, многие считают, и для этого есть свои основания, что из туманности образуются прежде всего горячие голубовато-белые звезды, а не гигантские — красные; впрочем, разногласия касаются преимущественно роли туманностей и гигантских звезд; относительно же обыкновенных звезд все астрономы в настоящее время согласны

с тем, что с течением времени эти звезды постепенно охлаждаются; так так наше солнце — звезда не гигантская, а обыкновенная, то относительно хода его развития мы можем с большой уверенностью применить то, что сказано было про жизнь звезд.

Гораздо труднее вопрос о дальнейшей судьбе, которая ожидает в будущем солнце и связанную неразрывно с ним землю. Как люди, рождаясь одинаковым образом, умирают неодинаковой смертью, — кто своей, кто насильственной, одни молодые, другие в старости, так и звезды; различным образом могут кончить они свой жизненный путь. Если солнце будет спокойно продолжать свое существование, то оно будет продолжать развиваться по тому пути, какой мы описали выше; оно постепенно станет холоднее, его окраска будет становиться более красной, все меньше и меньше тепла будет давать оно; и к тому времени, когда оно перейдет в следующую ступень развития — из желтой звезды сделается красновато-желтой, — тогда тепла она будет давать раза в 4 меньше, чем теперь, так что на земле будет господствовать страшный холод; даже на экваторе, где в самое холодное время бывает теплее, чем у нас летом, мороз будет достигать 50°; не будет уже разницы между сушей и морем, — все океаны замерзнут, будут так же тверды, как и суша, образуя одну сплошную ледяную равнину, не будет также и облаков, не будет падать снег: при таком сильном холоде водяной пар не может уже держаться в воздухе; на безоблачно-синем небе будет сиять уже более тусклое, багровое солнце, освещая мертвую, закоченевшую землю; все живое исчезнет с лица земли, застынут реки, замолкнет прибой морской, — и единственным движением, оживляющим пустыню, будет ветер, перегоняющий из края в край лишь тучи песку и давно выпавшего снега. Когда наступит этот ледяной конец всему живому на земле? Мы так мало знаем о законах, управляющих жизнью солнца, что указывать какую-либо определенную цифру совершенно невозможно; но если принимать постепенность хода событий, то можно считать, что срок, предоставленный нам, обитателям земли, не менее промежутка времени, протекшего от начала жизни на земле до настоящего времени; срок этот в тысячи раз больше того времени, в течение которого существует человечество.

Но охлаждение солнца, а вместе с тем и согреваемой им земли будет продолжаться и дальше, еще через огромный промежуток времени станет оно красным; температура у его поверхности опустится так низко, что многие вещества обратятся там в жидкое

или твердое состояние; эти тела сначала вызовут лишь появление темных облаков во все еще раскаленной атмосфере солнца, подобно тому, как обратившийся в жидкие капли водяной пар образует земные облака, а при дальнейшем охлаждении, в конце концов, появится твердая кора, такая же, как у земли, и померкнет окончательно лучезарное светило.

А что в это время станет с землею? Все усиливающийся холод, достигнув некоторого предела — около 190 градусов ниже нуля, вызовет временное оживление земной поверхности, появятся новые облака и дожди, потекут новые ручьи и реки, но это будет уже не вода: тот воздух, которым мы теперь дышим, под влиянием страшного холода начнет сгущаться в жидкость и даже замерзать, образуя тела, совершенно похожие на снег и лед; вместо морей в отдельных местах земли скопятся озера из жидкого воздуха, — для того чтобы образовать целые океаны, его было бы слишком мало. В полярных странах воздушные вихри закрутят снежинки из того же самого воздуха. Но, наконец, замолкнут и эти новые ручьи и потоки, замерзнут, по всей земной поверхности начнет валить снег из замерзающего воздуха, покрывая все ровной белой пеленой; замерзнет весь воздух, и тогда умрет и замолкнет все на земле: не будет ветра, не раздастся ни единого звука, потухший шар солнца уже не будет рассеивать тьмы, и на черном небе будут сиять лишь вечные звезды, освещая безмолвную белую пустыню, когда-то бывшую носительницей бурного водоворота жизни и неустанной деятельности человека.

Но наблюдения неба говорят нам, что еще другой конец может ожидать солнце. Время от времени среди звезд в таком месте, где раньше не было видно никакой звезды или была лишь очень слабая, едва видная в телескоп звездочка, вдруг вспыхивает яркая звезда, которая с первого же дня своего появления достигает наибольшей яркости, а потом постепенно ослабевает, пока, по прошествии многих лет, снова не исчезнет из глаз. Такие звезды получили название *новых*; как на пример, можно указать на новую звезду, появившуюся в июне 1918 года в созвездии Орла, которая в первые дни своего существования равнялась по яркости самым ярким звездам, бывшим тогда на небосклоне. Ранее на том же самом месте находилась очень слабая звезда, видимая лишь в телескоп, — в 10 000 раз слабее, чем новая звезда в первые дни. Ясно, конечно, что «новой» звезды в буквальном смысле здесь не появлялось, «новая» звезда, это — та же самая слабенькая звез-

дочка, но вследствие неизвестной причины засиявшая в тысячи раз ярче.

Здесь перед нами — страшная небесная катастрофа, гибель целого мира; действительно, вообразим себе, что мы вместе с нашей землей находились бы поблизости этой звезды перед тем, как она вспыхнула с таким необычайным блеском; эта звездочка, казавшаяся столь слабой вследствие большого расстояния, отделявшего ее от нас, была на самом деле целым солнцем, подобно нашему, и могла бы совершенно таким же образом своим теплом поддерживать жизнь на земле; и вдруг вследствие какой-то причины, о которой выскажем возможные предположения ниже, это солнце загорается с чудовищной силой, становясь в десять тысяч раз ярче; это значит, что в течение одного дня оно начинает давать столько тепла, сколько раньше в 30 лет! Такой жар должен в одно мгновение сжечь все живое на суше и привести в кипение океаны; поверхность земли превратилась бы в какой-то клокочущий ад. Не подлежит сомнению, что если около этой звезды были какие-либо миры (планеты), подобные нашей земле, и если там тоже процветала жизнь, то для обитателей этих миров неожиданная вспышка их солнца явилась причиной гибели; день этот для них был последним днем — «светопреставлением».

Что же, однако, является причиной этой катастрофы? Из-за огромного расстояния, отделяющего звезды от нас, наблюдения здесь не могут быть так подробны, как наблюдения хотя бы, например, солнца, и из-за этого в настоящее время нельзя еще дать окончательного ответа на наш вопрос. Из наблюдений определенно вытекает лишь следующее: 1) в новой звезде происходят очень бурные движения, и выделяется огромное количество газов, преимущественно водорода; 2) новая звезда, постепенно потухая после первой вспышки, не обращается уже более в прежнюю обыкновенную звезду, а, расширяясь, превращается в газовую *туманность*. Насчет же первоначальной причины, вызвавшей катастрофу, существует несколько различных предположений, которые можно разделить на две группы:

1) *Внутренние* причины катастрофы: возможно, что внутри звезды накопились взрывчатые вещества страшной силы, долго лежавшие в недрах ее и внезапно пришедшие в действие: и страшный взрыв, разбив звезду на части, рассеял ее затем, как дым, в виде разреженной туманности по пространству. Если это предположение справедливо, то надо допустить существование взрыв-

чатых веществ, сила которых в миллионы раз превосходит силу нашего пороха или пироксилина, ибо эти последние, столь разрушительные на земле, не могли бы оказать сколько-нибудь заметного влияния на огромное солнце.

2) Однако некоторые данные указывают на то, что возможной является и *внешняя* причина катастрофы, именно: столкновение с каким-нибудь другим небесным телом, например с другой звездой или туманностью. Наконец, возможно падение собственной планеты на звезду-солнце. При таком столкновении оба сталкивающихся тела должны мчаться друг другу навстречу со скоростью многих сотен километров в секунду; при ударе оба тела должны необычайно сильно раскалиться, чем и объясняется сильный блеск новой звезды, а затем под влиянием теплоты, выделившейся при ударе, звезда начинает расширяться, пока, наконец, не обратится в туманность. Возможно, что столкновение вызывает собой взрыв, вроде упомянутого выше, вследствие чего катастрофа принимает более обширные размеры, чем случилось бы под влиянием одного лишь столкновения.

Какова бы ни была причина катастрофы, — а возможно, что в разных случаях действуют разные причины, — одно для нас ясно: и звезды не продолжают безмятежно свое существование до бесконечности; приблизительно раз в два-три года, а может быть, и чаще которая-нибудь из них погибает в огненной катастрофе, превращаясь в туманность; если так, то в течение какой-нибудь пары миллиардов лет судьба эта должна в конце концов постигнуть и все звезды на небе. Не может быть сомнения, что существует вселенная гораздо дольше; почему же в таком случае все-таки на нашем небе сияют звезды, почему они все не превратились в туманности? Если мы вспомним то, что говорилось о происхождении звезд, то объяснение напрашивается само собою: та туманность, в которую обращается звезда после катастрофы, не будет существовать в таком виде вечно: она потом опять начнет сокращаться и постепенно снова обратится в звезду, на этот раз действительно новую, молодую звезду; эта последняя будет затем проходить те ступени развития, которые описаны выше, пока новая катастрофа не заставит начать все опять сначала.

То же самое, возможно, происходило и с нашим солнцем; неизвестно, сколько раз уже оно рождалось вновь, давая жизнь новым мирам и повторяя величественный кругооборот, из туманности превращаясь в звезду и снова обращаясь в туманность. И впереди

нас ожидает опять такая катастрофа; неизвестно, когда наступит она: тогда ли, когда еще жизнь ключом будет бить на земле, или когда она замрет в ледяных объятиях холода, уже не поддерживаемая ослабевшим солнцем; огненный вихрь сметет тогда все и вернет наш солнечный мир опять к молодости; и спустя мириады лет появятся новые земли, новая жизнь разовьется на них, может быть, новые разумные существа станут там опять «венцом творения».

Ну, а человечество, судьба которого все-таки ближе всего нашему сердцу? Неужели ему суждено погибнуть, и смерть — ледяная или огненная — обратит в ничто все приобретения человеческого ума, все, над чем, может быть, в течение миллионов лет в будущем люди будут еще трудиться? Теперь мы умираем, зная, что наши дела и творения будут подхвачены и продолжены грядущими поколениями, а тогда не будет наследников. Пусть когда-нибудь опять ум засияет в нашем, уже обновленном мире, — этот новый ум не будет связан с нами, он опять будет все строить вновь, ничего не зная о том, что существовали когда-то люди, которые все это уже проделали,— будет строить вновь, пока та же судьба не постигнет и его. Значит тщетны наши стремления перед вечностью... Но кто знает? Может быть, в безудержном порыве развития нам, ежедневно побеждающим одну силу природы за другой, удастся победить и самую судьбу... Развитие человеческих знаний и техники подвигается вперед все быстрее и быстрее, открытия и изобретения следуют одно за другим. В настоящее время мы находимся всецело в зависимости от солнца; но, может быть, наступит когда-нибудь день, когда мы сами сумеем построить себе собственное солнце, — когда люди откроют способ из мертвого вещества получать такие же неизмеримые количества тепла, какие сейчас испускает солнце, тогда можно будет искусственным образом освещать и согревать землю, и не страшно будет человечеству постепенное потухание теперь столь необходимого для нас светила.

А когда солнцу будет грозить столкновение, и огненная смерть нависнет над человечеством, — а это можно будет предвидеть благодаря астрономическим наблюдениям за тысячи лет вперед,— оно покинет погибающий мир и на неведомых снарядах перелетит к другим мирам, к другим, более гостеприимным солнцам.

Таким образом судьба человечества еще не предрешена; оно, может быть, погибнет слишком рано, поставленное лицом к лицу с непреодолимой силой; но, может быть, неустанно подвигающиеся

вперед завоевания науки сделают человека таким сильным, что ему не страшны будут случайности неба и земли, и вместо того, чтобы зависеть от солнц и земель, он сам будет управлять звездами. Горделивые мечты... Но разве можно поставить предел человеческим стремлениям? Разве можно вообразить себе тот размах, который приобретут творения человеческого ума, когда человечество, наконец, превозможет в себе тот дух взаимного разрушения и истребления, который чреват гораздо большими опасностями, чем все катастрофы, вместе взятые? Предстоит борьба, и не исход ее, а высокая цель, поставленная впереди, придает красоту и смысл этой борьбе, — борьбе за вечность.

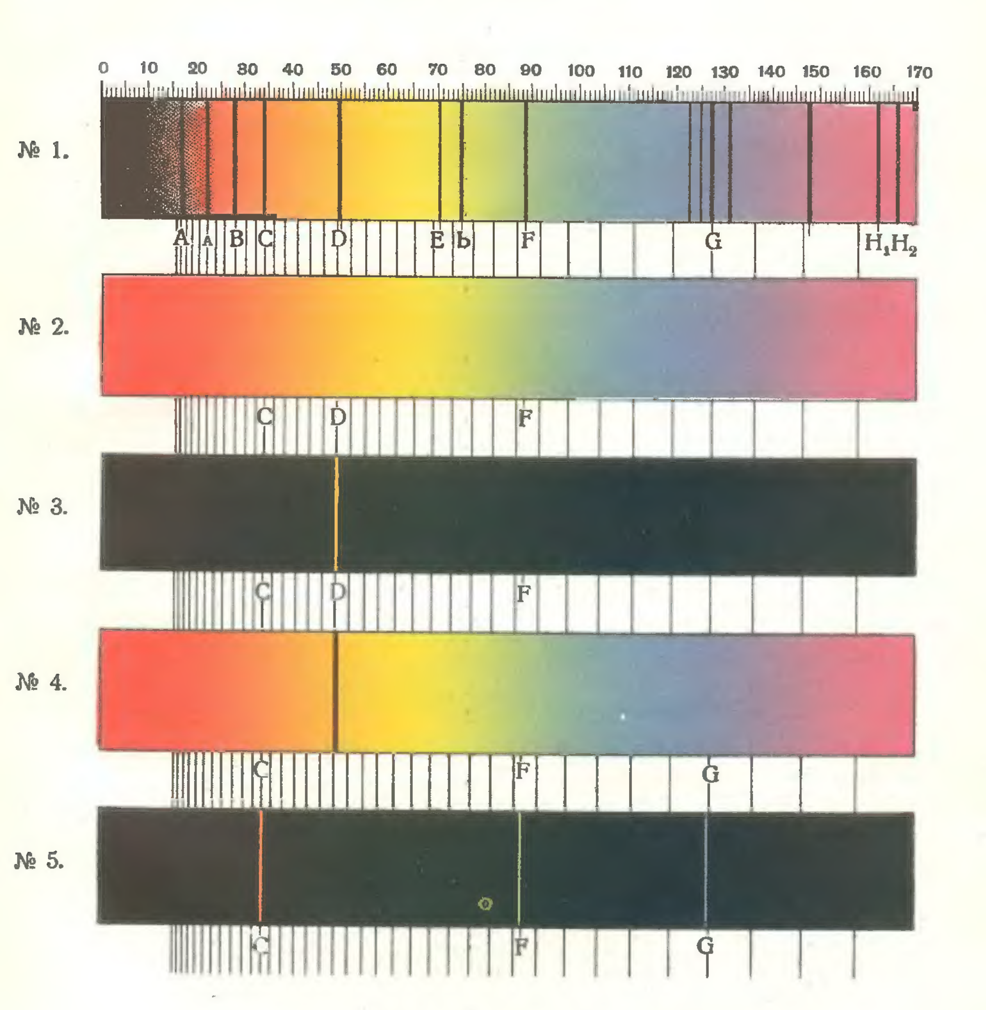
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

ОГЛАВЛЕНИЕ



ПРОТУБЕРАНЕЦ ПО ТАККИНИ

ТАБЛИЦА СПЕКТРОВ



№ 1. Спектр солнца.

№ 2. Сплошной спектр от раскаленного твердого тела.

№ 3. Спектр излучения натрия.

№ 4. Спектр поглощения натрия.

№ 5. Спектр излучения водорода.

ТАБЛИЦА III

